

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robotechniky

Návrh robotizovaného pracoviště pro dělení profilů kratších délek

The Design of Robotized Workplace for Cutting Profiles of Shorter Size

Student:

Jan Vicherek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2013

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Vicherek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Návrh robotizovaného pracoviště pro dělení profilů kratších délek**  
**The Design of Robotized Workplace for Cutting Profiles of Shorter Size**

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení robotizovaného pracoviště pro dělení profilů kratších délek.
2. Proved'te výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodno'te dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Periferní zařízení RTP*. Skripta VŠB-TUO, Ostrava: 2006, 132 s. ISBN 80-248-1221-5.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

SKAŘUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....  
Podpis

Jan Vicherek

Masarykova třída 948  
Orlová-Lutyně 735 14

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VICHEREK,J., Návrh robotizovaného pracoviště pro dělení profilů kratších délek, Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robototechniky – 354, 2013, 45 stran.

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Bakalářská práce se zabývá řešením návrhu robotizovaného pracoviště pro dělení profilů kratších délek. V úvodu práce je vypracována rešerše na téma automatického dělení materiálu. Poté jsou navrženy 3 varianty řešení, které jsou hodnoceny pomocí hodnotové analýzy. Optimální varianta je rozpracována po jednotlivých částech pracoviště a vymodelována v programu Autodesk Inventor. Práce obsahuje dispoziční výkres pracoviště a sestavný výkres kombinovaného dopravníku.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

VICHEREK,J., The design of robotized workplace for cutting profiles of shorter size Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2013, 45 p.

Bachelor thesis head: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Bachelor thesis deals with solving design robotized workplace for cutting profiles shorter size. The introduction is background research on automatic cutting. Then they are proposed three alternative solutions which are evaluated using value analysis. Optimal solution is worked out for each part of the workplace and modeled in Autodesk Inventor. The work includes drawings disposition workplace and the plan of the combined conveyor.

## Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a značek.....</b>	<b>1</b>
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>2. ROZBOR PRACOVISTĚ PRO DĚLENÍ MATERIÁLU .....</b>	<b>3</b>
2.1 Zásobování pracoviště materiálem .....	3
2.1.1 Skladovací systém bez mechanizace .....	3
2.1.2 Mechanizovaný skladovací systém.....	3
2.1.3 Automatizovaný skladovací systém.....	3
2.2 Dělení materiálu.....	4
2.2.1 Dělení rozřezáváním.....	4
2.2.2 Dělení rozbrušovacím a frikčním kotoučem .....	5
2.2.3 Nekonenční metody dělení .....	6
2.3 Vstupní část RTP .....	6
2.4 Paletizace materiálu .....	8
2.5 Doplnkové operace. ....	9
<b>3. VÝCHOZÍ PODMÍNKY .....</b>	<b>11</b>
3.1 Pracovní proces.....	11
3.2 Výchozí periferie .....	11
3.3 Výchozí polotovar.....	12
<b>4. POŽADAVKOVÝ LIST .....</b>	<b>13</b>
<b>5. VARIANTY ŘEŠENÍ .....</b>	<b>14</b>
5.1 VARIANTA A.....	14
5.2 VARIANTA B.....	16
5.3 VARIANTA C .....	17
<b>6. HODNOTOVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>20</b>
6.2 Hodnocení jednotlivých kritérií .....	20
6.2 Určení významnosti kritérií .....	20

6.3	Určení váhy významnosti .....	21
6.4	Hodnocení jednotlivých variant.....	22
6.5	Vyhodnocení a určení optimální varianty.....	23
<b>7.</b>	<b>ROZPRACOVÁNÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY.....</b>	<b>24</b>
7.1	Pracovní proces.....	24
7.2	Organizace skladu .....	25
7.3	Vstupní dopravník .....	26
7.3.1	Návrh a výpočet řetězu.....	28
7.3.2	Volba pohonu .....	30
7.3.3	Návrh Válečkové části dopravníku .....	31
7.4	Dělička materiálu .....	32
7.5	Paletizace .....	33
7.5.1	Předběžný výpočet portálového manipulátoru .....	35
7.5.2	Koncový efektor.....	37
7.6	Dopravník palet.....	38
<b>8.</b>	<b>Časový průběh operací. ....</b>	<b>39</b>
<b>9.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>42</b>
<b>10.</b>	<b>Seznam použitých pramenů .....</b>	<b>43</b>
<b>11.</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>45</b>

## Seznam obrázků a tabulek

## **Seznam použitých symbolů a značek**

č. - číslo

ČSN - chráněné označení českých technických norem

$g[m \times s^{-2}]$  – gravitační zrychlení

ks - kus/kusů

obr. – obrázek

OM – objekt manipulace

str. – strana

tab. – tabulka

tzv. – tak zvaný

viz. - více

VZV – vysokozdvizný vozík

Další použité symboly a značky jsou vysvětleny v textu.



# 1. ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout robotizované pracoviště pro dělení profilů čtvercového průřezu dle ČSN 42 6935 a obdélníkového průřezu dle ČSN 42 6935, o maximální délce 500 mm a maximální šířce strany 70 mm. Polotovar je dodáván ve standardních délkách 6 m. Dělení tyčového materiálu jednou ze základních operací při zpracování různého sortimentu zboží. Pro automatické dělení materiálu ve velkosériové výrobě se používají poloautomatické nebo plně automatizované dělicí linky. Firmy zabývající se touto problematikou používají varianty ucelených jednoúčelových strojů, nebo modulární řešení pro sestavení linky přesně podle specifikací zákazníka. Linky jsou dimenzovány na velké objemy materiálu a firmy si velice pečlivě chrání jakékoli „know-how“. Dělení materiálu na ručních pilách je monotónní práce, vyžadující nekvalifikovanou pracovní sílu. Pomocí automatizace procesu si můžeme tento proces usnadnit, dosáhnout vyšší kvality, rychlosti a přesnosti řezu a v neposlední řadě odstranit namáhavou a monotónní ruční výrobu.

V první části této práce jsem se zabýval problematikou automatizovaného dělení materiálu s ohledem na možné použitelné technologie a principy jejich využití. Jednotlivé úseky jsem rozdělil na kapitoly podle sledu operací, kterými materiál prochází pracovištěm. V druhé části jsem použil původní řešení a navrhl dvě nové možné varianty uspořádání. Varianty jsem porovnal analýzou více kritérií a vyhodnotil nejvhodnější řešení. Třetí část se zaměřuje na podrobné rozpracování návrhu vítězné varianty, od nakupovaných částí až po rozpracování návrhu řetězového podavače materiálu. Při sestavování pracoviště jsem vycházel z konceptů návrhů sériově vyráběných dělicích pracovišť, s cílem sestavit pracoviště tak, aby bylo co nejvíce automatizováno, ale zároveň si zachovalo nízkou pořizovací cenu a tím i použitelnost v menších provozech kde by byly univerzální vysoce produkční dělicí centra nevhodné z hlediska dlouhodobé návratnosti investice.

## **2. ROZBOR PRACOVIŠTĚ PRO DĚLENÍ MATERIÁLU**

### **2.1 Zásobování pracoviště materiálem**

Velikost skladu závisí na počtu druhů materiálů, objemu jeho výdeje a velikosti. Měli bychom se snažit sklady materiálu optimalizovat tak, abychom zajistili plynulý tok výroby, ale zároveň nehromadili materiál, který zbytečně zadržuje plochu skladu a finanční prostředky. Nabízí se tři základní varianty skladovacích systémů. Systémy mechanizované, bez mechanizace a automatické systémy.

#### **2.1.1 Skladovací systém bez mechanizace**

Sklady bez mechanizace vyžadují obsluhu lidskou pracovní silou. Nejčastěji se používají jako mezisklad drobného materiálu. Toto řešení je velice náročné na prostor. Dále je zde výškové omezení, které nepřesahuje 2 m a omezení hygienickými předpisy. Maximální hmotnost materiálu, se kterým mohou manipulovat ženy, je 15 kg. Nedostatek skladovacích prostor může být řešen několikapatrovými sklady, kde se přesun materiálu uskutečňuje pomocí schodišť nebo výtahů. Zde nachází využití i drobná mechanizace jako jsou paletové vozíky či nízkozdvížené a vysokozdvížené vozíky vedené obsluhou skladu. [3]

#### **2.1.2 Mechanizovaný skladovací systém**

Používají se pro skladování většího množství materiálu. Sklad vyžaduje lidskou obsluhu stejně jako sklad nemechanizovaný, s tím rozdílem, že při manipulaci s těžšími materiály jsou použity mechanické doplňky, jako jsou nosné vidlice, řetězové kladičkové a jiné dopravníky, které jsou řízeny obsluhou skladu. Zde již neplatí tak výrazné výškové a hmotnostní omezení jako u systémů bez mechanizace, proto je toto řešení méně náročné na půdorysný prostor. [3]

#### **2.1.3 Automatizovaný skladovací systém**

Automatizované sklady jsou řízeny převážně výpočetní technikou, která umožňuje sledování dostupných zásob materiálu. Obsluha má minimální nároky na lidskou pracovní sílu. Obsluha obstarává pouze dozorčí funkci. Především administrativní a dispečerské činnosti, které nejsou strojně automatizovány. Pro manipulaci s materiálem jsou sklady vybaveny účelovými manipulatory s automatickým ovládáním. Pro zajištění kontroly polohy jsou vybaveny koncovými spínači a bezpečnostními dorazy. [3]



Obr. 2.1 Mechanizovaný sklad [14]



Obr. 2.2 Automatizovaný sklad[14]

## 2.2 Dělení materiálu

Dělení materiálu je jedna ze základních operací při výrobě. Automatizovanému dělení materiálu se proto věnuje mnoho společností, které se snaží v konkurenčním prostředí prosazovat širokou nabídkou automatizace řezného procesu či celkovým řešením dělicích pracovišť. Srdcem každého pracoviště je dělička materiálu, ke které jsou připojeny vstupní a výstupní periférie. Automatické děličky se rozdělují podle použité technologie:

### 2.2.1 Dělení rozřezáváním

Dělení rozřezáváním patří k nepoužívanějším metodám dělení materiálu. K dělení můžeme použít:

- a) Pily rámové se uplatňují zejména v kusové a malosériové výrobě. Výhodou je jejich jednoduchost a nízká poruchovost. Nevýhodou je však nízká produktivita, nízká přesnost řezání a vysoké ztráty materiálu. [1]
- b) Pily kotoučové lze přirovnat k operaci opracování materiálu tenkou mnohozubou frézou. Mají hlavní přednost ve vysoké kvalitě řezné plochy, přesnosti a vysoké životnosti řezného kotouče. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena pily. [1]
- c) Pily pásové patří k nejproduktivnějším metodám dělení materiálu. Dochází zde k nejmenší ztrátě materiálu a čistému řezu. Dělicí nástroj je svařený nekonečný pilový pás hnaný kotouči místem řezu. [1]



Obr. 2.3 Poloautomatická rámová pila KASTO [15]



Obr. 2.4 Kotoučová pila Reconeng[18]



Obr. 2.5 Pásová pila BOOMAR [8]

Charakteristika	RP	KP	PP
Pořizovací cena stroje	N	V	S
Instalovaný příkon	S	V	N
Produktivita dělení	N	S	V
Univerzálnost použití	N	S	V
Cena nástroje	N	S	V
Životnost nástroje	N	V	S
Přesnost přířezu	N	V	S
Ztráta materiálu řezáním	V	S	N
RP - rámové pily, PP - pásové pily, KP - kotoučové pily Hodnota parametru: N – nízká, S – střední, V – vysoká			

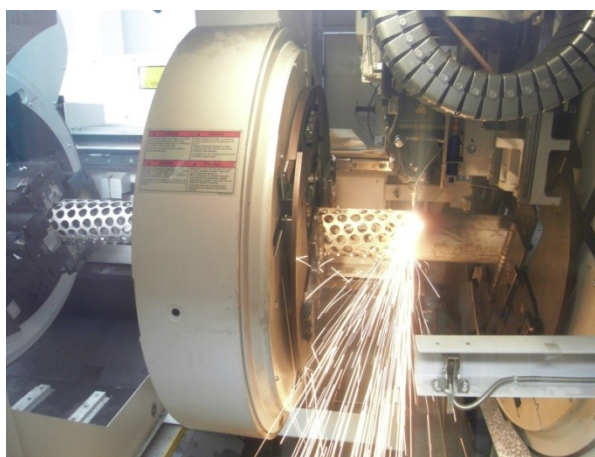
Obr. 2.6 Porovnání technologií řezu [2]

### 2.2.2 Dělení rozbrušovacím a frikčním kotoučem

Tyto metody jsou vysoce produktivní, ale jejich použití se omezuje na určité případy pro dělení těžkoobrobitelných plastů a slabostěnných profilů či trubek. Nevýhodou těchto metod je vysoké opotřebení pracovního nástroje a zahřívání řezného materiálu. Proto je tato metoda nevhodná pro snadno zakalitelné či naopak popustitelné materiály. Konstrukční řešení samotných děliček je stejné jako u kotoučových pil s rozdílem řezného nástroje. [1]

### 2.2.3 *Nekonvenční metody dělení*

Mezi nekonvenční metody patří: elektrický oblouk, plasma, laser, elektronkový paprsek, vodní paprsek, elektroerozivní dělení. Tyto metody nepoužívají standardní dělicí nástroj. K odběru materiálu je využíváno tepelných, chemických nebo abrazivních metod. Výhodou těchto metod (zejména laser, plasma, vodní paprsek) je jejich rychlost a přesnost a možnost tvarového řezu. Tyto metody se používají na pracovištích, které nahrazují několik výrobních operací najednou (řezání, vrtání, frézování, vysekávání). Jejich největší nevýhodou je cena řezu, která je způsobena vysokou spotřebou energií či případně spotřebou abrazivních přísad pro řez. [1]



**Obr. 2.7 Dělení tyčového materiálu pomocí laseru [16]**

## 2.3 Vstupní část RTP

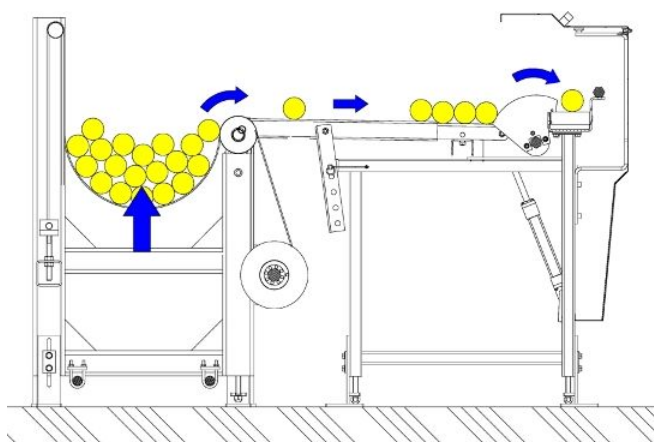
Pro potřebu automatického přísunu materiálu do řezu, je výhodné vstupní část opatřit zásobníkem a dávkovačem materiálu. Dělicí linky mohou být vybaveny integrovaným podavačem tyčového materiálu, který dodá výrobce děličky. Tyto podavače jsou velice univerzální a mohou být použity na široké spektrum děleného sortimentu. Další možností jsou modulární verze použitelné jako doplnění stávajícího strojního vybavení podniku. Podavače jsou řešeny ve formě řetězového nebo válečkového dopravníku. Často i jejich kombinací. Pro přepravu profilů kde je důležitá orientace součásti při dělení je vhodné použít kapsový dopravník (obr. 2.10). Profily jsou vkládány obsluhou do každé kapsy zvlášť. Při dělení více profilů najednou, obsah kapsy odpovídá počtu dělených profilů najednou. Součástí podavače bývá i zásobník, který udržuje dostatek vstupního materiálu a



tím snižuje počet mezioperačních manipulací při dávkování do děličky (obr. 2.9). Zásobníky a podavače mohou také fungovat s využitím gravitace a materiál do řezu jen uvolnit bez potřeby pomocného posuvu materiálu (obr. 2.8).



**Obr. 2.8 Pila firmy Reconeng s lineárním podavačem a gravitačním zásobníkem [19]**



**Obr. 2.9 Řešení gravitačního zásobníku s pomocným zásobníkem svazků firmy ExactCut [10]**



**Obr. 2.10 Kapsový dopravník [10]**

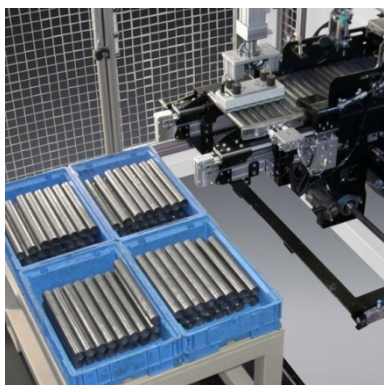


**Obr. 2.11 Řetězový dopravník [10]**

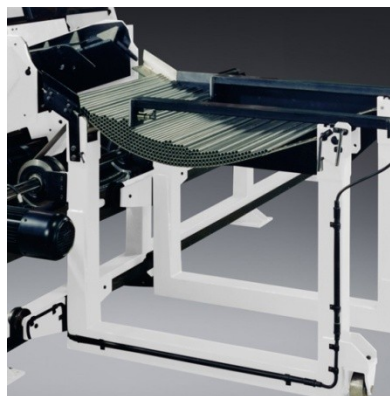
## 2.4 Paletizace materiálu

Po sérii dělicích operací je potřeba připravit materiál k přemístění do skladu nebo další technologické operaci. K přemístění můžeme použít jednoduché skluzy, sklopné stoly nebo pásové dopravníky, které pouze nasměrují dělený materiál do připravených přepravek. Sklopné stoly mohou třídit materiál a odřezky odhazovat na opačnou stranu (obr. 2.14). Pokud požadujeme přesné umístění nebo pokročilé třídění výstupních polotovaru nabízí se možnost použití více osových manipulátorů (obr. 2.12) nebo univerzálních robotu (obr. 2.15).

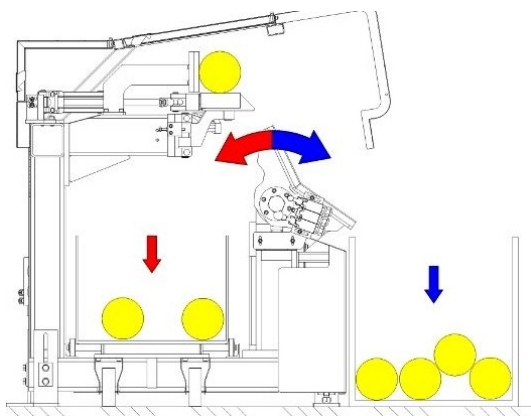
Při paletizaci máme také několik možností uložení materiálu. Použít můžeme palety, plechové či plastové bedny (obr. 2.12), nebo uložení materiálu do svazků, které by bylo možné použít jako modulární zásobník pro další operace (obr. 2.13).



Obr. 2.12 Paletizace portálovým manipulátorem [20]



Obr. 2.13 Stohování materiálu[20]



Obr. 2.14 Použití sklopného stolu[10]



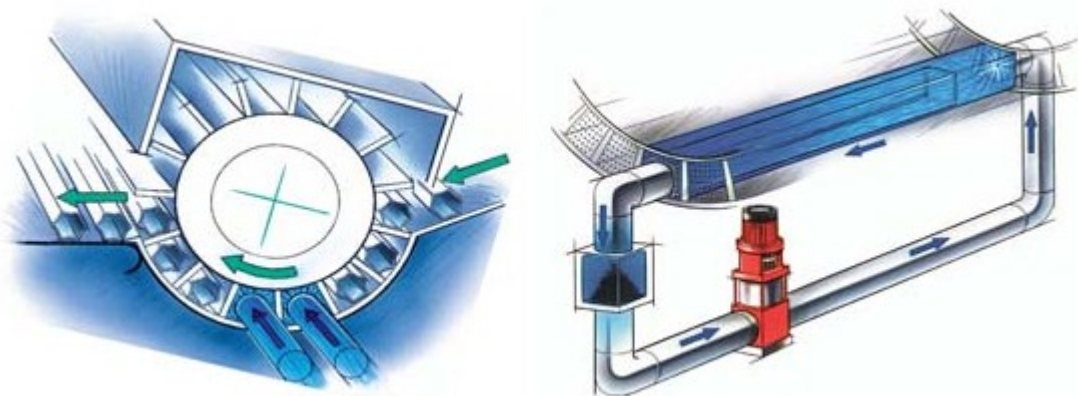
Obr. 2.15 Paletizace robotem KUKA[10]

## 2.5 Doplnkové operace.

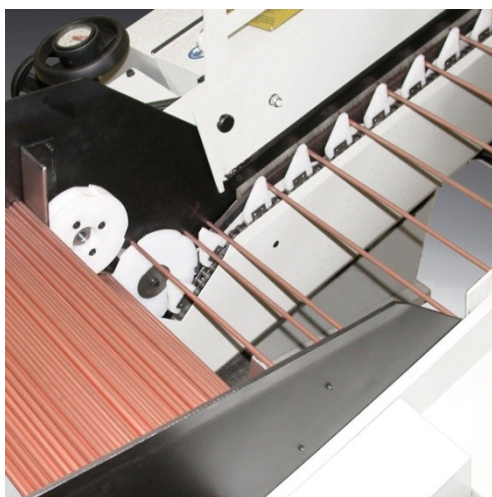
Při sestavování dělicích linek pracujících ve velkých sériích je běžnou praxí zařazovat po řezání další technologické kroky upravující materiál na požadovanou úroveň výstupní kvality. Při použití kotoučových a pásových pil vzniká, vlivem opotřebení nástroje, pravděpodobnost tvorby nežádoucího otřepu. Ten může komplikovat použití součástí při následných technologických operacích nebo vytvářet prostoje pracovníků (montáž, svařování), kteří musí případný otřep očistit. Tyto problémy spojené s řezáním je možné odstranit průchozími dopravníky, které mají po stranách čistící rotační kartáče (obr. 2.18).

Dalším problémem při dělení trubek či profilů jsou třísky, které spolu s chladicí emulzí zatékají dovnitř děleného materiálu. Zde je zcela evidentní problém přítomnosti cizích částí, které po kompletaci mohou způsobit obrovské škody na zařízení. Tento problém je možné odstranit průchozími dopravníky. Ty trubky proplachují proudem vody (obr. 2.17) a posléze vysušují teplým vzduchem (obr. 2.19). Také je možné použití magnetu zachycujícího třísky. V tomto případě je však nutné provést demagnetizaci u materiálu, které mají sklon zachovávat si magnetizmus.

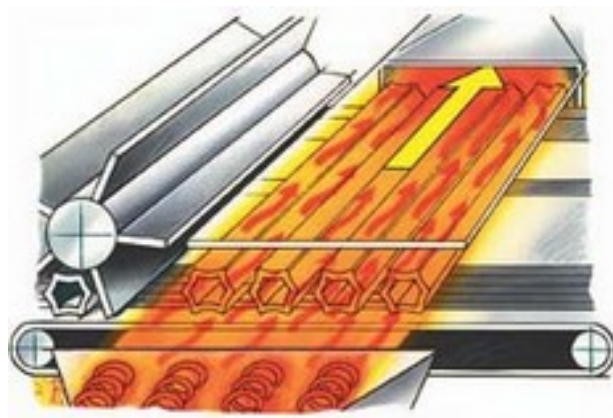




Obr. 2.17 Princip vymývání profilů [20]



Obr. 2.18 Čištění rotačním kartáčem [20]

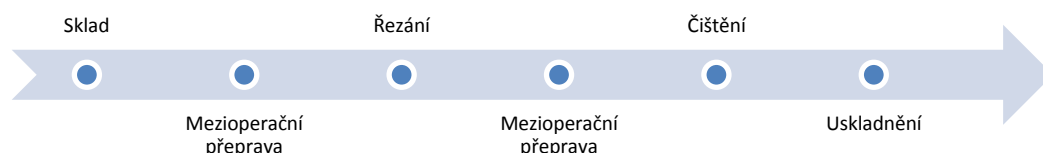


Obr. 2.19 Vysoušení profilů [20]

### 3. VÝCHOZÍ PODMÍNKY

#### 3.1 Pracovní proces

Materiál je dovezen řidičem VZV z centrálního skladu, kde je umístěn volně na podlaze ve svazku, na vyhrazené místo vedle ruční pásové pily (obr. 3.2). Pracovník ručně odebírá profily ze svazku a ukládá je na pomocný dopravník pily. Pomocí nastavitelného dorazu dělí profily na požadovanou délku. Nařezané profily dávají po skluzu do stohovatelných kovových přepravek MARS. Aby se využila plná kapacita plechové bedny, pracovník v určitých cyklech profily přerovná, čímž vzniká prostoj. Po naplnění bedny je polotovar odvezen řidičem VZV na pracoviště k odstranění otřepu pomocí rotujícího kartáče na stroji Pilous OH90 (obr. 3.3). Očištěné polotovary jsou uloženy do kovové přepravy a připraveny k další technologické úpravě.



Obr. 3.1 Časový průběh práce

#### 3.2 Výchozí periferie

Univerzální gravitační pásová pila PILOUS AGR200 (obr. 3.2) je tvořena tuhou základnou a robustním ramenem, které je při pohybu směrem dolů brzděno regulovatelným olejovým tlumičem. Tlumič lze zcela vypnout a řezat materiál ručním posuvem. Pila je osazena pilovým pásem velikosti 2490x20x0,9 mm a umožňuje natáčením ramene regulovat úhel řezu v rozsahu 45°- 90° při stálé poloze řezaného materiálu. Pila je vybavena manuálním svěrákem a integrovaným vodním chlazením pilového listu. Přepínač rychlosti řezu a regulátor olejového tlumiče se nachází na ovládacím panelu v přední části stroje. Odhrocovací stroj OH90 (obr. 3.3) je jednoduché a velice účinné zařízení k odstranění otřepu po opracování. Pomocí trojice ocelových kartáčů, které jsou umístěny na hnací hřídeli, očistí plné materiály i vnitřní strany profilů.



Obr. 3.2 Pila PILOUS AGR200 [18]



Obr. 3.3 Odhrocovací stroj OH90[18]

### 3.3 Výchozí polotovary

Výchozím polotovarem jsou profily čtvercového a obdélníkového průřezu dle ČSN 42 6935 a ČSN 42 6936 (obr. 3.4). Jakost materiálu S 235 JRH (11 373). Profily jsou dodávány ve svazcích o délce 6 m a hmotnosti 2 tuny. V případě potřeby dodavatelé mohou dodat i profily jiných délek, což je výhodné zejména z hlediska minimalizace odpadu. Svařované profily se vyrábějí podélným svařováním z ocelových pásů válcovaných za tepla či studena a jejich tvar a rozměr je vytvářen kalibračním pořadím. Tažené profily se vyrábí ze svařovaných trubek. Tažené profily mají vyšší přesnost rozměrů kvalitu povrchu a pevnost.



Obr. 3.4 Profily různých průřezů [12]

#### 4. POŽADAVKOVÝ LIST

Seznam požadavků, které je nutné bezpodmínečně dodržet na pracovišti pro dělení profilů.

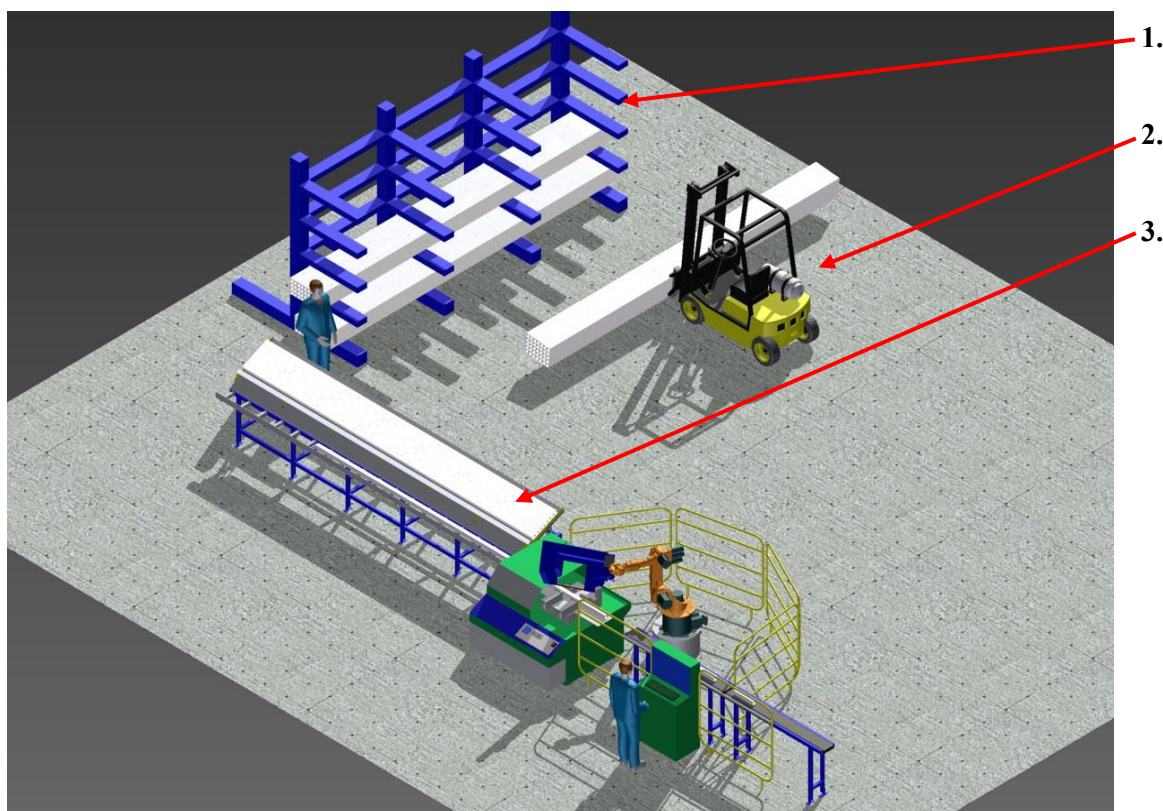
Pracovní plocha pro uskladnění materiálu	7000x2000 mm
Maximální rozměr děleného profilu	70x70x5 mm L=6000 mm
Maximální délka děleného profilu	500mm
Dělička	Automatizovaná pila s posuvem do řezu min 500 mm
Maximální hmotnost OM	10 kg
Přívod energi	400V/50Hz
Umístění	Betonová podlaha
	Vnitřní použití
Vlhkost	Minimální
Prašnost	Minimální

Tab. 4.1 Požadavkový list

## 5. VARIANTY ŘEŠENÍ

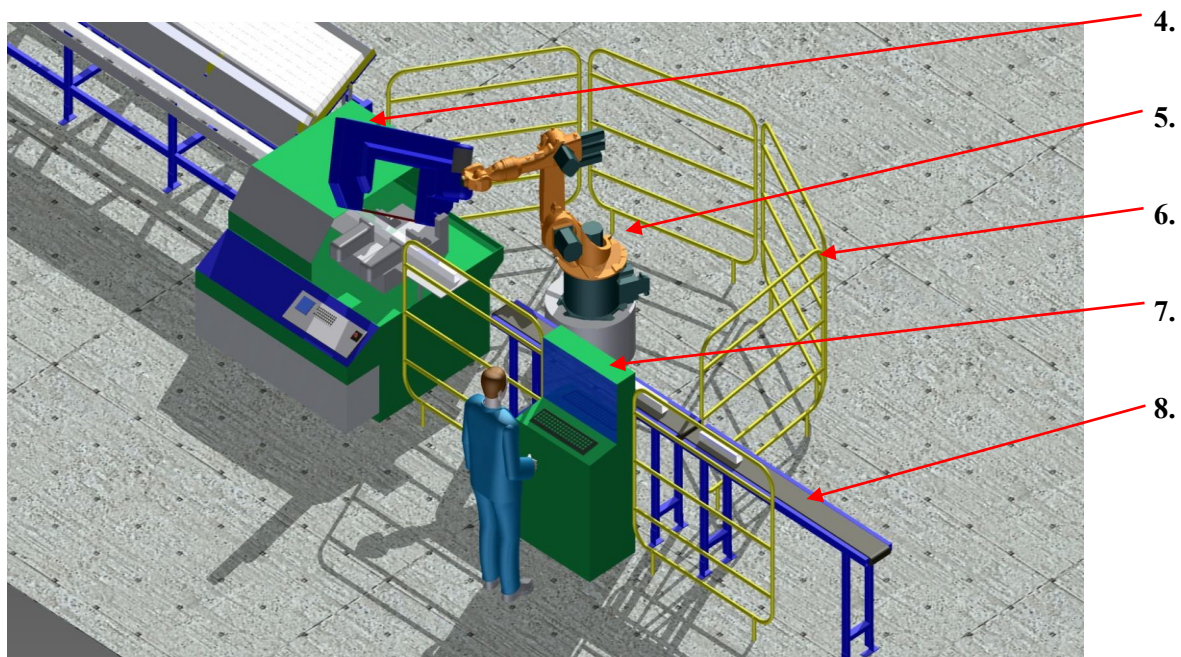
### 5.1 VARIANTA A

V této variantě je materiál dodáván řidičem VZV (2) do meziskladového regálu (1). Odebírán je dvěma pracovníky a je průběžně ukládán do kombinovaného zásobníku (3), který pracuje na gravitačním principu. Tvarový dávkovač uvolňuje po jednom kuse dělený materiál na hnaný válečkový dopravník, který přisune profil k čelistem hydraulického svěráku. Pila s automatickým posuvem (4) dělí materiál, který je odebírán univerzálním robotem ABB (5) a ukládán na pásový dopravník (8). Pásový dopravník přemístí dělený materiál k dalšímu zpracování.



Obr. 5.1 Varianta A

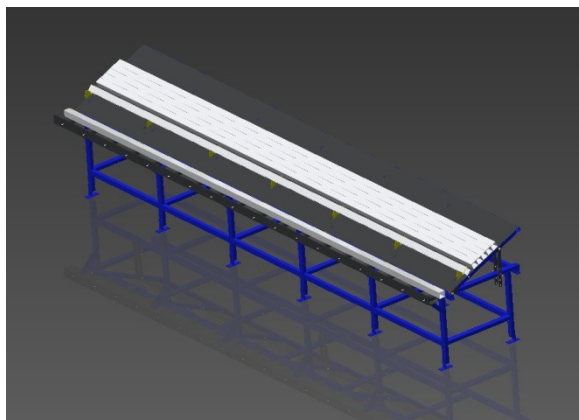




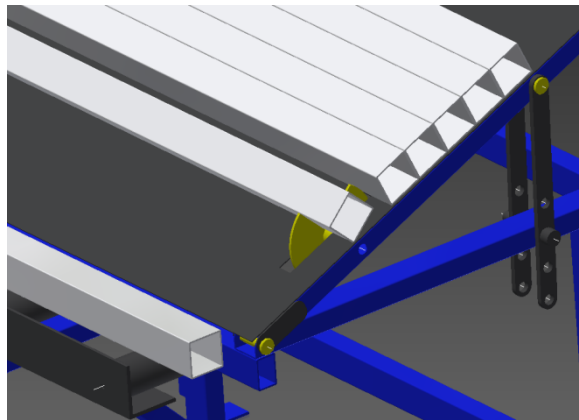
Obr. 5.2 Detail odebrání profilů

1.	Meziskladový regál	5.	Robot ABB
2.	VZV	6.	Bezpečnostní zábrana
3.	Zásobník materiálu	7.	Řídící jednotka robotu
4.	Pásová pila	8.	Pásový dopravník

Tab. 5.1 Legenda VARIANTA A



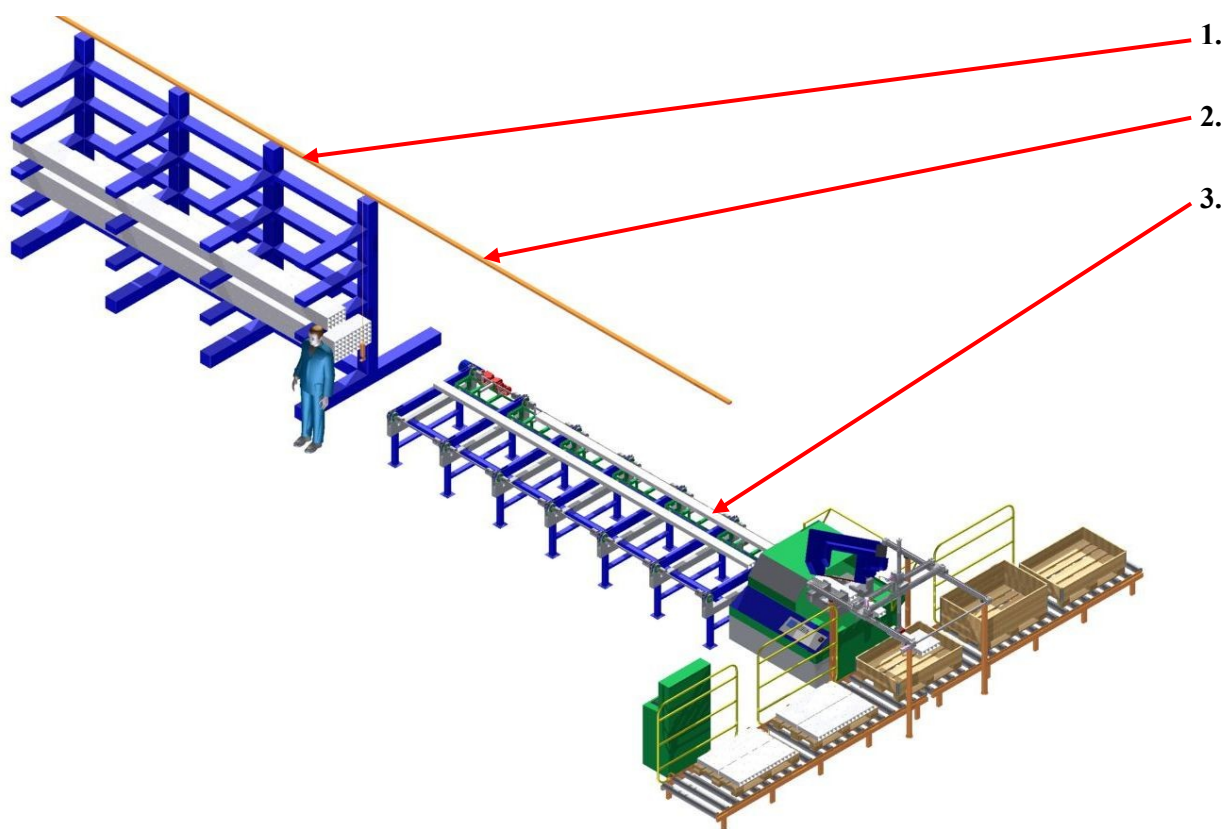
Obr. 5.3 Zásobník materiálu VARIANTA A



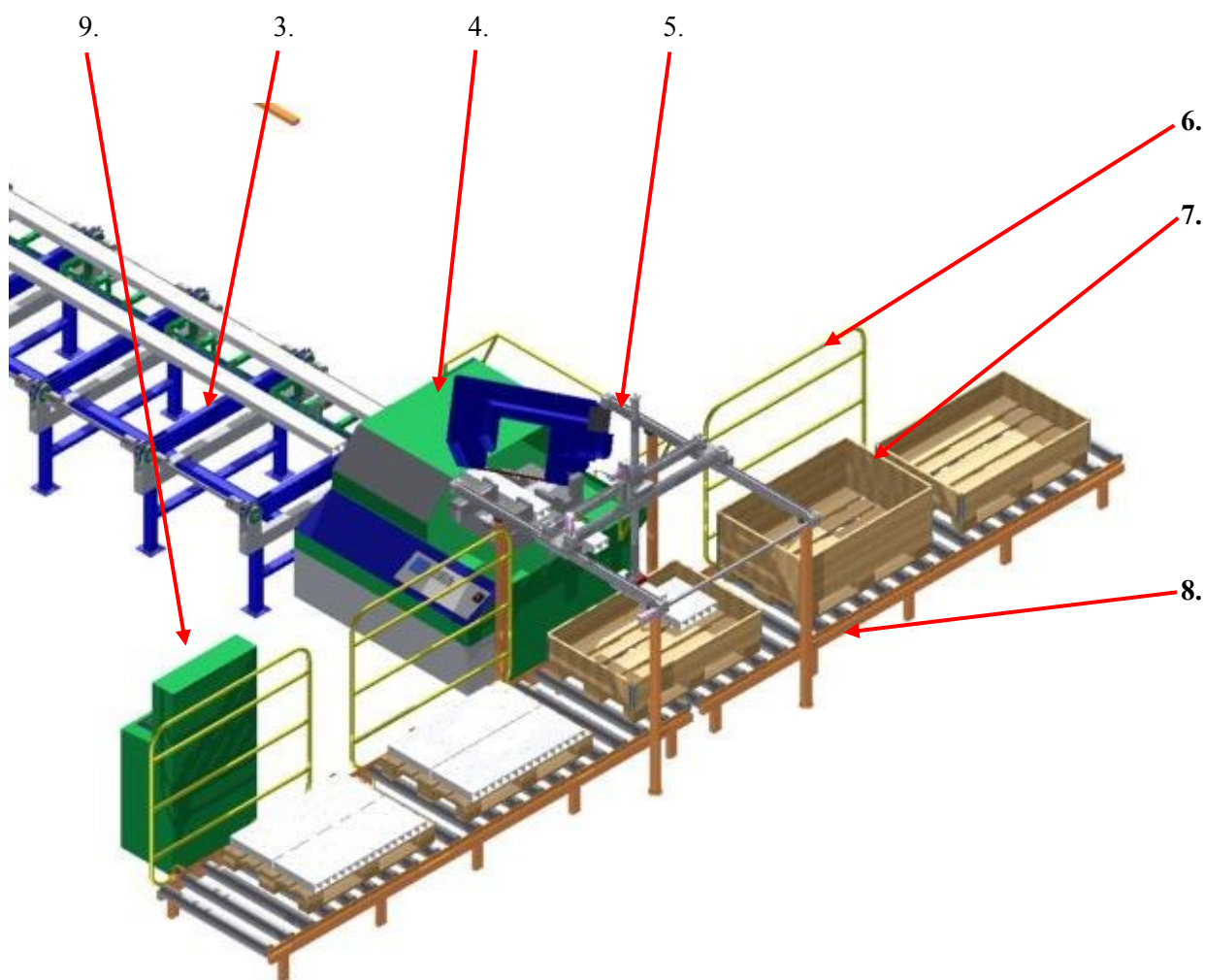
Obr. 5.4 Detail rotačního dávkovače

## 5.2 VARIANTA B.

V této variantě je řezaný materiál odebírán jedním pracovníkem pomocí kladkového jeřábu (2) z regálového meziskladu (1) a umístěn na kombinovaný dopravník (3). Dopravník přesouvá materiál z části řetězové až k části s hnacími válečky, které přisunují materiál k hydraulickému podavači pily. Pásová pila dělí (4) s automatickým posuvem až po délky 500 mm. Portálový manipulátor (5) odebírá dělený materiál pomocí elektromagnetického efektoru a ukládá na dopravník do předem připravených palet (7), odkud jsou odebírány řidičem VZV k dalšímu zpracování. Palety byly voleny s možností umístění nástavbové ohrádky, která zaručuje fixaci materiálu při manipulaci řidičem VZV. Počet nástaveb každé palety je předem určen v závislosti na počtu kusů dle objednávky. Dopravník má kapacitu 6 palet, které jsou cyklicky doplňovány.



Obr. 5.5 VARIANTA B



Obr. 5.6 Detail paletizace VARIANTY B

1.	Meziskladový regál	6.	Bezpečnostní zábrana
2.	Kladkový jeřáb	7.	EUR paleta s nástavbou
3.	Kapsový dopravník	8.	Válečkový dopravník
4.	Pásová pila	9.	Řídící jednotka manipulátoru
5.	Portálový manipulátor		

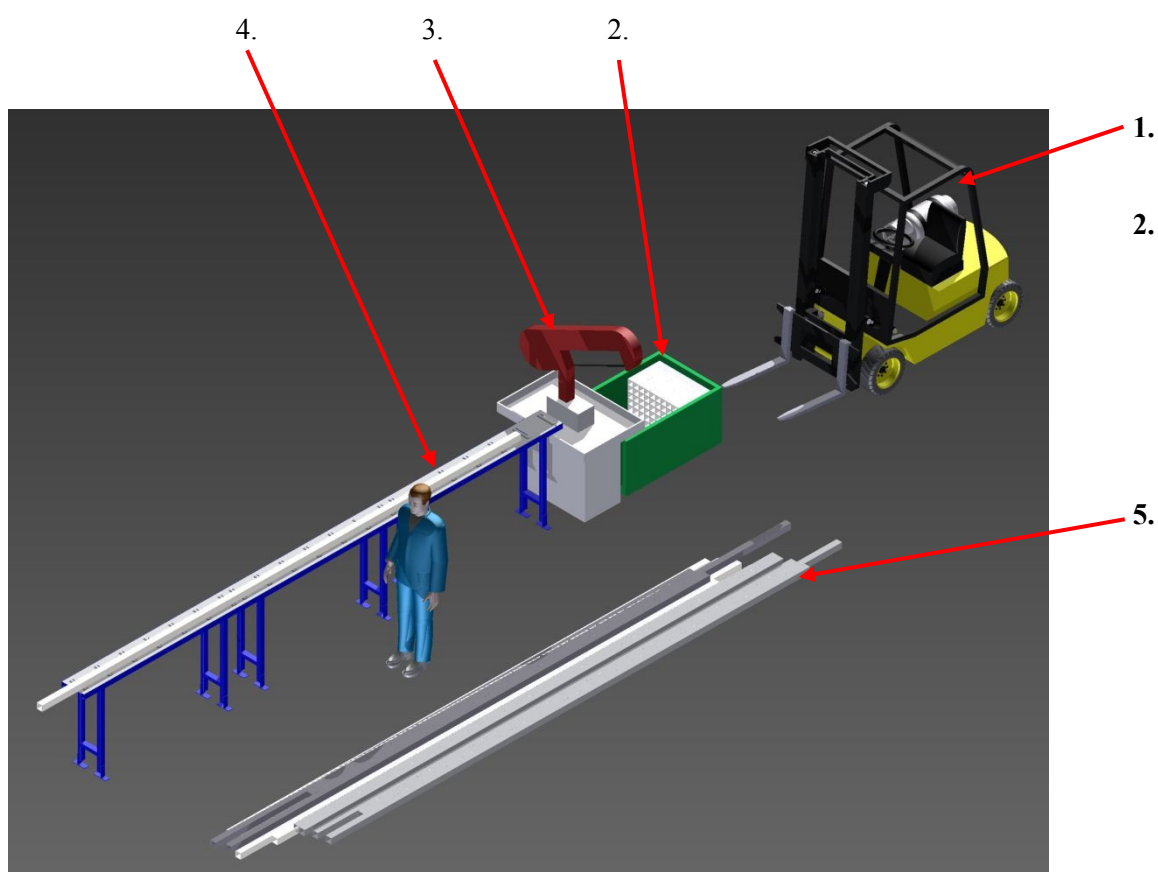
Tab. 5.2 Legenda VARIANTA B

### 5.3 VARIANTA C

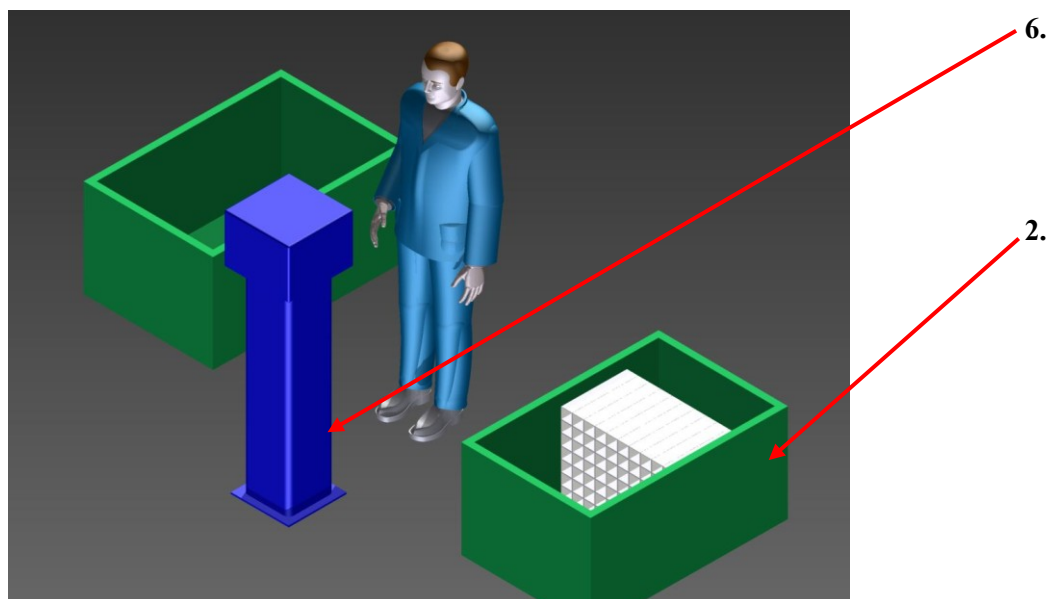
Výchozí stav. V této variantě ponecháme pracoviště v původním stavu, abychom mohli porovnat, jestli pro nás bude robotizace pracoviště přínosem. Materiál bude tedy dovezen řidičem VZV na místo dělení, kde jej pracovník obsluhy pily odebírá a ruční



pásovou pilou dělí na příslušné délky. Dělený profil zcela neorganizovaně padá od řezu do připravené plechové bedny MARS. Pracovník dle uvážení přerovnává obsah bedny tak, aby bylo možné pokračovat v řezu. Tímto vznikají prostoje v produkci. Když je bedna plná, odváží řidič VZV bednu k čištění otřepu. Tato operace není povinná pro každou sérii řezaných profilů, rozhodujeme se na základě výrobního postupu výrobku, je-li je otřep přípustný či nikoli. Po očištění je materiál připraven k dalšímu zpracování.



Obr. 5.7 VARIANTA C



Obr. 5.8 Rozvržení pracoviště při čištění otřepu

1.	VZV	4.	Pomocné vedení pily
2.	Plechová bedna MARS	5.	Dělený materiál
3.	Ruční pásová pila	6.	Odhrocovač OH90

Tab. 5.3 Legenda VARIANTA C

## 6. HODNOTOVÁ ANALÝZA

### 6.2 Hodnocení jednotlivých kritérií

Do níže uvedené tabulky jsem zaznamenal jednotlivé kritéria v každé variantě A, B, C a subjektivně ohodnotil dle bodovací stupnice.

<b>K1 – Zastavěný prostor</b>		
Varianta		Hodnocení / počet bodů
A	45 m <sup>2</sup>	3
B	50 m <sup>2</sup>	2
C	20 m <sup>2</sup>	4
<b>K2 – Produktivita řezu</b>		
Varianta		
A	2 – 7 ks/řez	3
B	1 ks/řez	5
C		1
<b>K3 – Počet obsluhujících pracovníků</b>		
Varianta		
A	2 pracovníci	2
B	1 pracovník	5
C	2 pracovníci	2
<b>K4 – Cena</b>		
Varianta		
A	3 500 000	3
B	2 000 000	4
C	200 000 Kč	5
<b>K5 – Spotřeba energie</b>		
Varianta		
A	Střední	3
B	Nejvyšší	2
C	Nízká	4
<b>K6 – Kvalita řezu</b>		
Varianta		
A	standardní	3
B	standardní	3
C	čištěná	5
<b>K7 – Nároky na kvalifikaci pracovníků</b>		
Varianta		
A	Kvalifikovaný pracovník	4
B	Kvalifikovaný pracovník	3
C	Nekvalifikovaná pracovní síla	5

Tab. 6.1 Hodnocení jednotlivých kritérií

### 6.2 Určení významnosti kritérií

K určení významnosti kritéria jsem využil Fullerova trojúhelníku a párově srovnával vždy 2 kritéria a vybral to kritérium, které pro mne bylo důležitější.

Párové porovnávání - autorem						Počet voleb	Pořadí
K1	K1	K1	<b>K1</b>	K1	K1	0,5	6. – 7.
<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>		
	<b>K2</b>	K2	<b>K2</b>	<b>K2</b>	<b>K2</b>	4,5	2. – 3.
	K3	<b>K4</b>	K5	<b>K6</b>	K7		
		K3	<b>K3</b>	K3	<b>K3</b>	3	4.
		<b>K4</b>	K5	<b>K6</b>	K7		
			<b>K4</b>	<b>K4</b>	<b>K4</b>	6	1.
			K5	K6	K7		
				K5	K5	0,5	6. – 7.
				<b>K6</b>	<b>K7</b>		
					<b>K6</b>	4,5	2. – 3.
					K7	1	5.

Obr. 6.1 Fullerův trojúhelník vypracován autorem

Párové porovnávání						Počet voleb	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	1	6. – 7.
<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>		
	<b>K2</b>	K2	<b>K2</b>	K2	<b>K2</b>	4	3.
	K3	<b>K4</b>	K5	<b>K6</b>	K7		
		K3	K3	K3	K3	1	6. – 7.
		<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>		
			<b>K4</b>	<b>K4</b>	<b>K4</b>	5,5	1. – 2.
			K5	<b>K6</b>	K7		
				K5	K5	2	5.
				<b>K6</b>	<b>K7</b>		
					<b>K6</b>	5,5	1. – 2.
					K7	3	4.

Obr. 6.2 Fullerův trojúhelník vypracován osloveným expertem

### 6.3 Určení váhy významnosti

Váhu významnosti jsem vypočítal dle následujícího vzorce:

$$q = \frac{\sum(v1)_i}{P}$$

Kde:

$p$  – počet hodnotitelů

$(vl)_i$  – součet voleb jednotlivých kritérií K1 – K7 jednotlivých hodnotitelů

Kritérium	Váha významnosti q
K1	0,75
K2	4,25
K3	2
K4	5,75
K5	1,25
K6	5
K7	2

Tab. 6.2 Váhy významnosti

#### 6.4 Hodnocení jednotlivých variant

Pro jednotlivé varianty jsem nyní vypočítal vážený index kritérií na základě vypočítané váhy významnosti každého kritéria a jeho hodnocení.

Zde platí, že čím větší bude celkový index varianty, tím bude daná varianta vhodnější.

Varianta A			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	3	0,75	2,25
K2	3	4,25	12,5
K3	2	2	4
K4	3	5,75	17,25
K5	3	1,25	3,75
K6	3	5	15
K7	4	2	8
Celkový součet indexů varianty A			62,75

Tab. 6.3 Celkový součet indexů varianty A

Varianta B			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	2	0,25	0,5
K2	5	4,5	22,5
K3	5	4,5	22,5
K4	4	4	16
K5	2	2	4
K6	3	6	18
K7	3	0,75	2,25
Celkový součet indexů varianty B			85,75

Tab. 6.4 Celkový součet indexů varianty B

Varianta C			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index kritéria
K1	4	0,25	1
K2	1	4,5	4,5
K3	2	4,5	9
K4	5	4	20
K5	4	2	8
K6	4	6	24
K7	5	0,75	3,75
Celkový součet indexů varianty C			70,25

Tab. 6.5 Celkový součet indexů varianty C

### 6.5 Vyhodnocení a určení optimální varianty

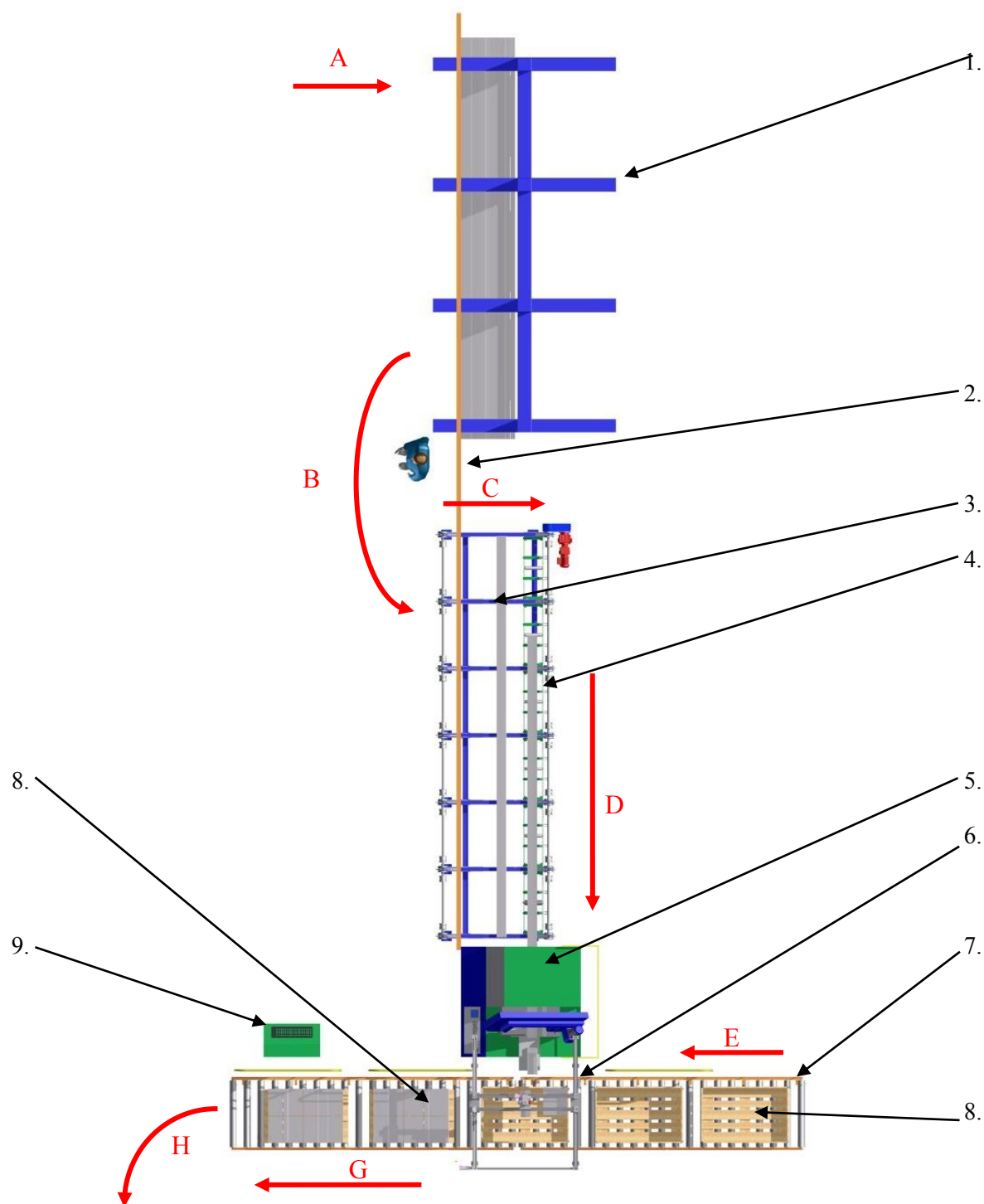
Optimální variantou je varianta B, která získala největší celkový součet vážených indexů.

Zvolená varianta B je nejlépe hodnocená v kritériích, jako je produktivita řezu a počet obsluhujících pracovníků. Váhu významnosti mají právě tyto 2 kritéria nejvyšší, a proto je varianta B také z tohoto pohledu nejvíce vyhovující.

## 7. ROZPRACOVÁNÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY

V této kapitole se budu věnovat rozpracování pracoviště po jednotlivých úsecích.

### 7.1 Pracovní proces



Obr. 7.1. Průběh operací VARIANTY A

Pracovní proces je rozdělen do několika fází (obr 7.1). Ve fázi A je materiál dovezen řidičem VZV do meziskladového regálu (1). Tato operace se provede jednou denně, abychom co nejvíce snížili pohyb VZV po pracovišti. Ve fázi B kde odebírá pracovník pomocí podvěsného jeřábu s úvazkem (2) určený počet trubek a průběžně je ukládá je do kapsového dopravníku (3). Ten ve fázi C přepravuje profily z řetězové části zásobníku do části válečkového podavače (4). Válečková část koná pohyb fáze D, kdy posune materiál k čelistem hydraulického podavače vysoce produkční pily Pegas 290 (5). Po řezu odebírá materiál portálový manipulátor BAHR (6) a ukládá jej na předem paletový dopravník (7) s předem přichystanými paletami (8). Dopravník slouží jako vstupní a výstupní zásobník palet. Obsluha skladu odebírá palety na výstupu H a zároveň průběžně doplňuje palety pro vstup E. Pracovník obsluhy dělicího pracoviště ovládá celý úsek pomocí řídicího panelu (9).

## 7.2 Organizace skladu

Jelikož v původní variantě je vstupní sklad je zcela neorganizován bylo by vhodné určit nový systém organizace. V prostorách je k dispozici VZV a v této variantě jsem navrhl vytvořit regálový mezisklad. Vstupy na skladě budeme držet co nejnižší, abychom zásobili linku dostatkem potřebného materiálu na jeden den. Tím redukuje pohyb VZV po pracovišti a zvýšíme tím bezpečnost práce. Konzolový regál objednáme na zakázku u firmy KARDEX-STOW.



Obr. 7.2 Konzolové regály KARDEX-STOW [14]

Výška	2500 mm
Délka konzoly	800 mm
Rozestup konzol	600 mm
Využitá podlahová plocha	6 x 1,2 m
Pořizovací cena	20 000 Kč

Tab. 7.1 Parametry konzolového regálu



Pro manipulaci s materiálem mezi konzolovým regálem a vstupním dopravníkem použijeme podvěsný elektrický zvedák D-SH 160 firmy Demag. S nosností a 160 kg vyhovuje požadavkům manipulace se dvěma profily délky 6 m a straně 70 mm. Zvedák se pohybuje po kladkách v nosné konstrukci podél konzolového regálu. Nosná konstrukce je upevněna ke stropu.



Označení	D-SH160
Nosnost	160 kg
Výška zdvihu	2,2 m
Max. rychlost zdvihu	35m/min
Napájení	400V/50Hz

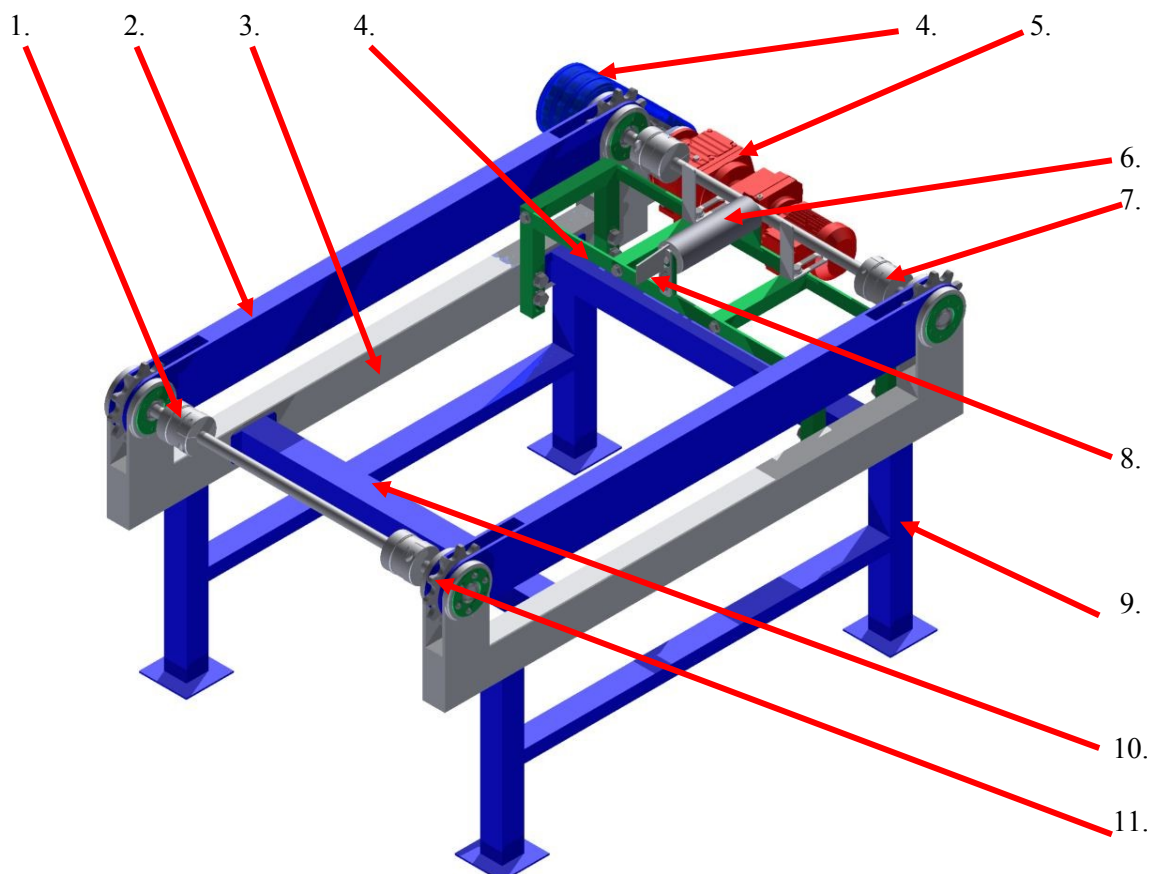
**Tab. 7.2 Vybrané parametry  
zvedáku**

**Obr. 7.3 Zvedák D-SH160**

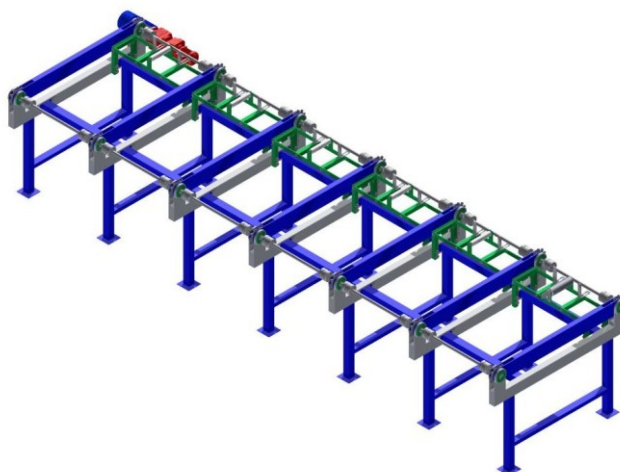
### **7.3 Vstupní dopravník**

Řetězovou část dopravníku tvoří nosná konstrukce (3) která je přivařena k nohám z ocelových profilů. Mezi sebou jsou jednotlivé nosné části spojeny rozpěrami (10) šroubovým spojem. Řetězový pohon tvoří 7 dopravních řetězů s nosnými deskami dle normy DIN8167(nezobrazeno). Řetěz je vybaven unášecími které rozdělují řetěz na úseky po 150 mm. Ty tvoří kapsy dopravníku. Tím zajistíme přesné dávkování materiálu na jeden pracovní cyklus. Řetězy jsou poháněny řetězovými koly (11) o průměru  $d_t = 177,47mm$ . Řetěz je tažen po vedení (2) které je vyrobeno ze silnostěnného profilu. Řetězová kola jsou poháněna sériovým motorem s převodovkou (5.). Přenos kroutícího momentu z motoru na hřídel zajišťuje třířadý řetězový převod (4.). Hnací hřídel je uložena ve valivých ložiscích a s řetězkou spojena pero-drážka. Pro prodloužení spojujeme hřídele pružnými spojkami firmy Norlem (1), které vyrovnávají případné nesouososti hřídelů. Druhá část dopravníku je tvořena válečky, které dopravují dělený materiál k automatickým čelistem pily. Válečková část je poháněna bubnovým motorem firmy INTERROLL (6), ostatní válečky slouží jen k snížení tření mezi profily a řetězem k tomuto účelu nám poslouží válečky INTERROLL série 1100. Před válečkem je umístěn plechový unášec, který zvedá profily

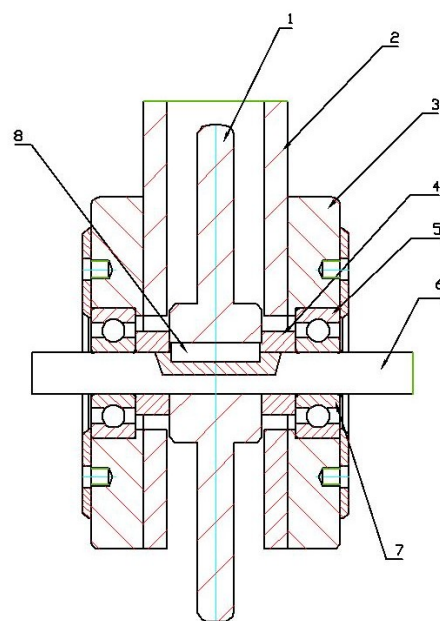
při pojezdu řetězu na váleček (8). Spojení nosné konstrukce válečků (4) je realizováno šroubovým spojem s drážkovou dírou pro případné seřízení výšky válečků. Celková délka dopravníku je 6000mm modulární řešení však dovoluje přidávat další části pro případ nadstandardně vyráběných délek trubek. Řetězy mají rozestupy 1 m pro případ dělení kratších trubek.



Obr. 7.4 Hnací modul dopravníku



Obr. 7.5 Sestava dopravníku



1. Hnací řetězka
2. Vedení
3. Nosná konstrukce
4. Distanční kroužek
5. Ložisko
6. Hřídel
7. Víko ložiska
8. Pero

Obr. 7.6 Řez řetězovým kolem

### 7.3.1 Návrh a výpočet řetězu [11] [12]

K pohonu řetězové části dopravníku jsem použil dopravní řetěz dle normy DIN 8167. řetěz je doplněn unášeci, které tvoří kapsy o rozměru 200mm. Tím zajistíme přesné uložení profilů a dodržení maximálních počtů kusů na jeden řez. Pro určení bezpečnosti řetězu proti přetržení vycházím z předpokladu, že tažná síla nebude rozložena rovnoměrně na všechny řetězy. To může způsobit například křivost materiálu nebo nevhodné uložení na trati. Při výpočtu dosadím krajní situaci, kdy jsou profily posouvány pouze 2 řetězy a tažná síla na řetěz dosáhne maxima. Koeficient bezpečnosti volím na spodní hranici doporučené literaturou  $k_r[-] = 7$ . Zatěžující síla se rovná hmotnosti 10 profilů 70x70mm.

#### *Volba typu řetězu*

$$m_p = n_{pr} \times l_{pr} \times m_{pr}$$

$$m = 10 \times 6 \times 9,76 \cong 585 \text{ kg}$$

$$F_b = \frac{m \times g \times f_v \times k}{n_{pr}}$$

$$F_b = \frac{585 \times 9,81 \times 0,2 \times 7}{2} = 4,02 \text{ kN}$$

$n_{pr} [-]$  – počet manipulovaný profilů

$l_{pr} [m]$  – délka profilu

$m_{pr} [kg]$  – hmotnost profilu 70x70mm

$m_p [kg]$  – celková hmotnost přepravovaných profilů

$k_r [-]$  – součinitel bezpečnosti proti přetržení řetězu

$F_b [N]$  – bezpečnost řetězu proti přetržení

$f_v [-]$  – součinitel kluzného a smykového tření (ocel – ocel)

Dle dovolené síly  $F_b$  volím z tabulek [11] řetěz DIN 8167 MT20x72. Síla potřebná k přetržení  $F_s = 20kN$ .

### ***Výpočet potřebné tažné síly***

$$d_t = \frac{p}{\sin \frac{180}{z}} = \frac{50}{\sin \frac{180}{11}} = 177,47 \text{ mm}$$

$$L_{\check{r}} = 2 \times a + \pi \times d_t = 2 \times 1500 + \pi \times 177,47 = 3600 \text{ mm}$$

$$m_{\check{r}} = L_{\check{r}} \times q \times n_{\check{r}} = 3,6 \times 5,54 \times 7 = 140 \text{ kg}$$

$$T_D = g \times (m_p + m_{\check{r}}) \times f_r \times F_s \times F_v$$

$$T_D = 9,81 \times (585 + 140) \times 0,3 \times 2,16 \times 0,8 = 3690 \text{ N}$$

$d_t [mm]$  – roztečný průměr řetězky

$L_{\check{r}} [m]$  – délka řetězu

$m_{\check{r}} [kg]$  – celková hmotnost řetězů

$n_{\check{r}} [-]$  – počet řetězů

$T_D [N]$  – tažná síla dopravníku

$F_s [-]$  – součinitel provozu

$F_v [-]$  – korekční součinitel

$p [mm]$  – rozteč řetězu

$q [kg \times m^{-1}]$  – hmotnost řetězu

$z [-]$  – počet zubů řetězky

## Výpočet pohonu řetězové části

Motor nemůže být připojen k hřídeli přímo v ose rotace. Mohlo by docházet ke kolizím při použití profilů delších než 6m. Proto bude motor připojen pomocí řetězového převodu. Účinnost řetězového převodu je až 98%. Pro zatím neznámou velikost účinnosti volím  $\eta_p = 0,9$ . Rychlost pohybu dopravníku jsem zvolil  $v_d = 0,05m \times s^{-1}$

$$P_D = \frac{T_D \times v_d}{1000 \times \eta_p} = \frac{3690 \times 0,05}{1000 \times 0,9} = 0,205kW$$

$$n = \frac{v_d}{\pi \times d_t} = \frac{0,05}{\pi \times 177,47} = 0,0897 \text{ ot} \times s^{-1} = 5,38 \text{ ot} \times \text{min}^{-1}$$

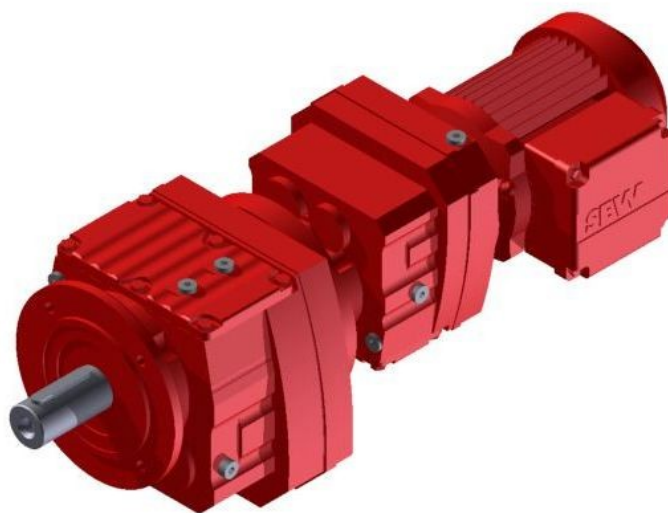
$$M_t = \frac{P_D}{2 \times \pi \times n} = \frac{205}{2 \times \pi \times 0,0897} = 363,9Nm$$

$P_d[kW]$  – požadovaný výkon pro pohon dopravníku

$M_t[Nm]$  – kroutící moment na hřídeli

### 7.3.2 Volba pohonu

Podle vypočtených parametrů  $P_D, M_t, n$  můžeme zvolit vhodný motor. Volím motor s typovým označením RF57R37DR63L4 firmy SEW-EURODRIVE. [13]. Jedná se o kompletní sestavu motoru s čelní převodovkou.



Parametry pohonu	
$P_m[kW]$	0,25
$n_{in}[1/min]$	1300
$n_{out}[1/min]$	5,4
$M_m[Nm]$	380
$i$	241
$m_m[kg]$	38

Tab. 7.1 Parametry pohonu

Obr. 7.7 Asynchronní motor Sew-eurodrive [22]

### 7.3.3 Návrh Válečkové části dopravníku

Pro přísun materiálu z řetězové části dopravníku k čelistem hydraulického svěráku pily použijeme válečkovou dráhu. Pro pohon válečkové dráhy použijeme bubnový motor zabudovaný ve válečku. Pro výpočet síly potřebné k rozjezdu profilu je potřeba zjistit velikost všech odporů působící proti směru pohybu.

Odpor valivého tření:

$$q_v = \frac{m_p}{n_v} = \frac{117,2}{6} = 19,6 \text{ kg}$$

$$F_{vt} = q_v \times g \times \frac{e + f \times r_{\xi}}{R_v} = 19,6 \times 9,81 \times \frac{0,0005 + 0,02 \times 0,005}{0,025} = 4,6 \text{ N}$$

Třecí síla na čepu válečku

$$F_{tr} = (q_v + m_v) \times g \times f = 4,04 \text{ N}$$

Odpor vlivem výrobních nepřesností a nepravidelných ploch styku. Uvádí se jako 0,5% normálového zatížení válečku.

$$F_{vn} = 0,005 \times q \times g = 0,005 \times 19,6 \times 9,81 = 0,96 \text{ N}$$

Při rozjezdu dopravníku je také potřeba překonat smykové tření materiálu, to je vždy vyšší než valivé tření.

$$F_t = q_v \times g \times f_{rs} = 19,6 \times 9,81 \times 0,15 = 28,8 \text{ N}$$

Celkový odpor působící proti směru pohybu na jednom válečku

$$F_{vc} = F_{vt} + F_{tr} + F_{vn} + F_t = 4,6 + 4,04 + 0,96 + 28 = 38,4 \text{ N}$$

$e[-]$  – součinitel valivého odporu

$R_v$  – poloměr hnaného válečku

$q_v[\text{kg}]$  – zatížení jednoho válečku

$f[-]$  – součinitel tření na povrchu čepu

$r_{\xi}[\text{mm}]$  – poloměr čepu válečku

$f_{rs}[-]$  – statické smykové tření ocel – ocel

Potřebný parametry pro výběr motoru vypočteme ze vztahu:

$$P_{mv} = F_{vc} \times v_d \times n_v = 38,4 \times 0,05 \times 6 = 11,52 \text{ W}$$

$$n = \frac{v_d}{\pi \times 2 \times R_v} = \frac{0,05}{\pi \times 0,04} = 0,199 \text{ ot} \times \text{s}^{-1} = 11,1 \text{ ot} \times \text{min}^{-1}$$

$$M_{tv} = \frac{P_{mv}}{2 \times \pi \times n} = \frac{11,52}{2 \times \pi \times 0,199} = 9,21 \text{ Nm}$$

$P_{mv} [W]$  – Potřebný výkon bubnového motoru

$M_{tv} [Nm]$  – Kroutící moment na hřídeli válečku

Z katalogu firmy INTERROL jsem vybral bubnový motor typ 80i jeho hlavními přednostmi jsou kompaktní rozměry a bezúdržbový chod.



Obr. 7.8 Bubnový motor INTERROLL 80i [13]

$P_N [kW]$	0,018
$v [m \times s^{-1}]$	0,05
$M_a [Nm]$	14,4
$i$	54,73

Tab. 7.2 Vybrané parametry  
bubnového motoru

#### 7.4 Dělička materiálu

Vysoce produktivní automatická pila značky Pegas-Gonda PEGAS 290x290 A-CNC-F je vybavena hydraulickým vícenásobným podavačem materiálu a automatickým spouštěním ramene pily. Ovládána je z předního panelu, kde zadáváme délku a počet kusů. Stroj si samostatně volí počet podání u délek přesahujících 500 mm. Pila má paměť pro 9 délkových programů rychlé volby. Díky své robustní konstrukci umožňuje dělení široké škály jakosti materiálu. Pila je navíc vybavena přívodem chladicí kapaliny na pilový pás a kartáčem pro čištění pásu. Svěrák fixuje materiál před i za řezem. Konstrukčně upraven pro dosažení minimálního zbytku materiálu. Svěrák je vyroben z litiny a čelisti zajišťují bezpečné upnutí. Hydraulicky ovládaný krátko zdvihový svěrák je uložen v seřiditelné rybinové drážce. Nastavení čelisti je manuální pomocí kolečka a trapézového šroubu. Pila bude vybavena automatickým šnekovým vynašečem třísek. [17]



Obr. 7.9 Pásová pila PEGAS 290 [17]

Označení	PEGAS 290x290 A- CNC-F
Rozměry minimální šířka/výška/délka	1650x1550x2110 mm
Rozměry maximální šířka/výška/délka	2100x2200x2110 mm
Maximální rozměry řezaného materiálu	320x270 mm
Elektrické zapojení	3x400V, 50hz
Celkový příkon přístroje	6,55 kW

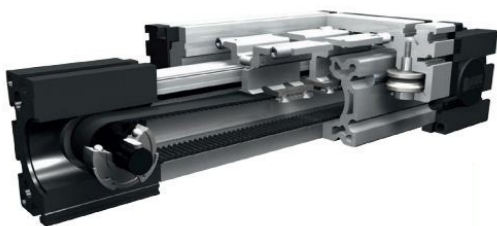
Tab. 7.3 Vybrané parametry pily PEGAS 290 [17]

## 7.5 Paletizace

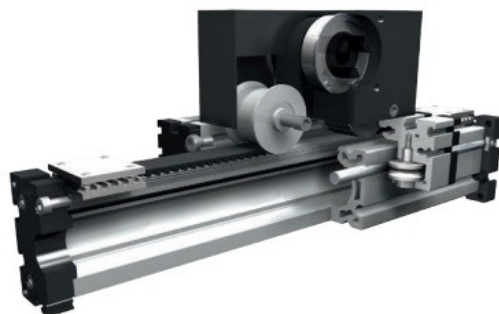
Pro odebrání materiálu byl zvolen modulární systém firmy BAHR Modultechnik GmbH. Firma Bahr-Modultechnik Gmb dodává řešení na míru a u každé zakázky je možné nechat si dodat kompletní řešení včetně instalace. Sestavu komponent (Obr.7.12) jsem volil na základě co nejjednoduššího a nejekonomičtějšího řešení. Jednotky jsou dimenzovány na jednoúčelovou operaci přenosu profilů s maximální hmotností do 14 kg. Sestava je umístěna na ocelových nohách (1), které jsou připevněné k podlaze kotevním šroubem pro zajištění maximální tuhosti nosného rámu. Polohovací systémy firmy Bahr Modultechnik GmbH jsou tvořeny hliníkovými profily. Přenos energie je uskutečněn pohybovým šroubem, ozubeným řemenem, či ozubeným hřebenem pro vysoké zatížení. Pro sestavu jsem volil provedení s ozubeným řemenem. Vyniká rychlostí dobrou přesností a oproti pohybovému či kuličkovému šroubu i svou cenou. Nosná konstrukce pro pohyb v ose X je tvořena dvojicí polohovacích jednotek ELHS 60 (1) (Obr7.10) o délce 1800



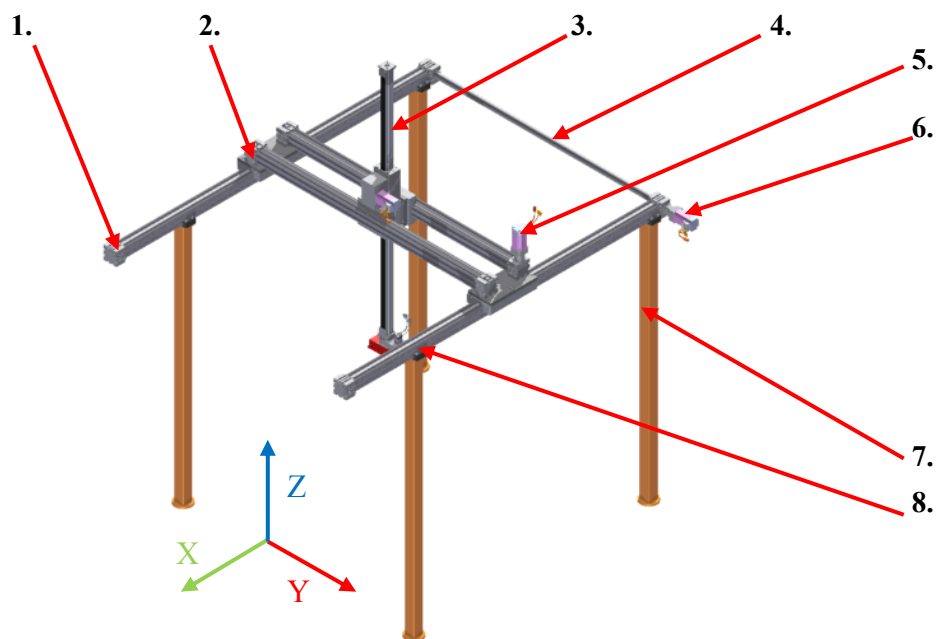
mm. Pohyb zajišťuje jeden motor (6), který je hřídelí (4) propojen s protilehlou polohovací jednotkou. Pro pohyb v ose Y jsem volil druhou dvojicí polohovacích jednotek ELHZ 60 (2) o délce 1500mm. Jedna jednotka je hnána druhá je bez pohonu a zajišťuje tuhost sestavy při manipulaci. Pro pohyb v ose Z jsem použil polohovací jednotku ELSZ 40 s rozšířeným pásem (3) pro vyšší nosnost v ose Z. Tvarové profily jsou spojeny tvarovými sponami, které jsou připevněny k nosnému rámu šroubovým spojem (8). Celou sestavu dodá firma BAH R včetně instalace řídicí jednotky.



**Obr. 7.10 Polohovací jednotka ELHS [7]**



**Obr. 7.11 Polohovací jednotka ELSZ [7]**



Obr. 7.12 Sestava portálového manipulátoru

### 7.5.1 Předběžný výpočet portálového manipulátoru [16]

Pro předběžný výpočet rámové konstrukce pohybových jednotek jsem použil manuál firmy. Polohovací jednotky firmy ELHZ60 (obr. 7.11) mohou dosahovat rychlostí pohybu až  $3 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ . Jednotky ELSZ40 (obr. 7.10) dosahují rychlostí posuvu až  $4 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ . Pro paletizaci jsem volil maximální rychlost pohybu jednotek  $v_{\max} = 2 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ . Vyšší rychlosti by zbytečně zvyšovaly dynamické síly působící na objekt manipulace a díky dostatečné časové prodlevě při řezání profilů nemusíme rychlosti maximalizovat. Maximální dráha pohybu je dána rozměry vedení v ose X  $s_{\max} = 1,8 \text{ m}$ .

Maximální akceleraci  $a_{\max} [\text{m} \times \text{s}^{-2}]$  jsem určil dle rampové funkce, s předpokladem že k rozjezdu a brzdění bude zapotřebí 10% celkové dráhy. [17]

$$a_{\max} = \frac{v_{\max}^2}{2 \times s_{\max} \times 0,1} = \frac{2^2}{2 \times 1,8 \times 0,1} = 11,11 \text{ m} \times \text{s}^{-2}$$

Určení síly, kterou působí objekt manipulace na celý portál. Hmotnost OM je součtem hmotností magnetického efektoru  $m_e [\text{kg}]$  a maximálního množství uchopitelných profilů  $m_p [\text{kg}]$ .

$$m_{OM} = m_p + m_e = 9,8 + 4 = 13,8 \text{ kg}$$

$$F_{OM} = m_{OM} \times (g + a_{\max}) = 13,8 \times (9,81 + 11,11) = 288,7 \text{ N}$$

$F_{OM}[N]$  – sílový účinek OM

Hmotnost jednotky ELSZ

$$F_{ELSZ} = m_{ELSZ} \times g = 6,2 * 9,81 = 60,8 \text{ N}$$

$F_{ESZL}[N]$  – Silová účinek jednotky ESZL

$m_{ESZL}[kg]$  – hmotnost jednotky ESZL

Průhyb vedení osy Y vy směru osy Z

$$f_{vy} = \frac{(F_{OM} + F_{ELZS}) \times L_{ELHZ}^3}{E \times I \times 192 \times n_{vy}} = \frac{(288,7 + 60,8) \times 1400^3}{70000 \times 6,79 \times 10^5 \times 192 \times 2} = 0,05 \text{ mm}$$

$f_{vy}[mm]$  = průhyb vedení osy Y v ose Z

$L_{ELHZ}[mm]$  – délke volné části pohybové jednotky

$E$  [Mpa] – modul pružnosti v tahu

$I$  [mm<sup>4</sup>] – moment setrvačnosti profilu

$n_{vy}[-]$  – počet profilu

Průhyb vedení osy X ve směru osy Z

$$F_{ELHZ} = m_{ELHZ} \times g = 16 * 9,81 = 157 \text{ N}$$

$$f_{vx} = \frac{(F_{OM} + F_{ELZS} + F_{ELHZ}) \times L_{ELHZ}^3}{E * I \times 192 \times n_{vx}} = \frac{(288,7 + 60,8 + 157) \times 1400^3}{70000 * 6,79 * 10^5 \times 192 \times 2} = 0,075 \text{ mm}$$

$f_{vy}[mm]$  = průhyb vedení osy Y v ose Z

$n_{vx}[-]$  – počet profilu

Výpočet požadovaného kroutícího momentu pro pohyb v jednotlivých osách. [16]

$$M_{vz} = \frac{F_{OM} \times d_p \times k_p}{2000 * \pi} + M_{NLZ} = \frac{288,7 \times 47 \times 1,2}{2000 \times \pi} + 0,7 = 3,29 \text{ Nm}$$

$$M_{vy} = \frac{\eta_v \times (F_{OM} + F_{ELZS}) \times d_p \times k_p}{2000 * \pi} + M_{NLZ}$$

$$M_{vy} = \frac{0,1 \times (288,7 + 60,8) \times 47 \times 1,2}{2000 \times \pi} + 0,5 = 0,81 \text{ Nm}$$

$$M_{vy} = \frac{\eta_v \times (F_{OM} + F_{ELZS}) \times d_p \times k_p}{2000 * \pi} + M_{NLZ}$$

$$M_{vx} = \frac{0,1 \times (288,7 + 60,8 +) \times 47 \times 1,2}{2000 \times \pi} + 0,5 = 0,81 \text{ Nm}$$

Tyto výpočty nám poskytly podklady k objednání manipulátoru. Ten na pracoviště dodá firma BAHR-Moduletechnik včetně montáže a instalace řídicí jednotky se software pro řízení.

### 7.5.2 Koncový efektor

Jako koncový efektor nám poslouží přídržný elektromagnet SAV 241.32 D. Ve spodní části je opatřen šrouby pro připevnění. Jelikož může nastat situace, že při uložení nebude poloha otočení OM vhodná, opatříme efektor krokovým motorem pro rotaci v ose Z a vhodným interface pro uchycení k přírubě polohovací jednotky.

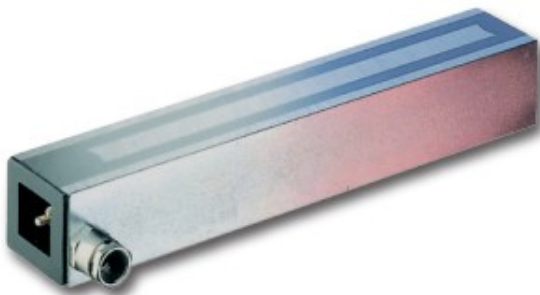
Vybrané parametry elektromagnetu SAV 241.32D	
Hmotnost	3,2 kg
Rozměry	150x32x49
Přídržná síla (Felp)	1500 N
Napětí	24V DC
Uchycení	M8x12

Tab. 7.4 Parametry elektromagnetu SAV 241.32D

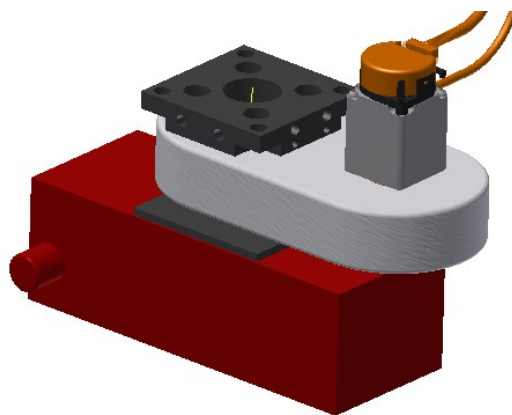
Kontrolní výpočet potřebné přídržné síly elektromagnetu.

$$F_{EL} = m_p \times (g + a_{max}) = 9,8 \times (9,81 + 11,11) = 205 \text{ N}$$

$$F_{EL} < F_{ELP}$$



Obr. 7.13 Elektor magnet SAV 240.32.D [22]



Obr. 7.14 Návrh interface pro upevnění efektoru

Kontrolní výpočet potřebné přídržné síly elektromagnetu.

$$F_{EL} = m_p * (g + a_{max}) = 9,8 * (9,81 + 11,11) = 205N$$

## 7.6 Dopravník palet

Palety budou uloženy na hnaném dopravníku dodaném firmou MANEX. Dopravník je tvořen svařovaným rámem z profilů. Dopravník je hnaný řetězovým převodem a je opatřen válečky z ocelových silnostěnných trubek. Hnací váleček je tvořen průchozí hřídelí uloženou v ložiskových domečcích na bocích dopravníku. Rám je upevněn na stavitelných nohách s výkyvnou antivibrační patkou. Elektrická převodovka je instalována z boku přímo na hřídeli nebo zespodu podvěšena pod dopravníkem s přídatným řetězovým převodem. V průběhu paletizace budou palety uloženy v přesně určeném pořadí dle plánu produkce. Po uložení nařezaných profilů paleta popojede mimo nosnou konstrukci manipulátoru, kde ji odebere pracovník skladiště. Celková délka dopravníku je 8 m. Kapacita dopravníku je 6 palet. Dvě palety jsou připraveny před manipulátorem, jedna paleta je manipulátorem obsluhována. Zbýlé 3 místa jsou vyhrazena pro výstup palet z manipulátoru. Kde je odebírá pracovník skladu a zároveň doplňuje palety před paletizační manipulátor.



**Obr. 7.15 Paletový dopravník firmy MANEX**

EUR Paleta – je nejčastěji používanou logistickou pomůckou její rozměry jsou dány normou 1200x800 mm. Taktéž je stanovena nosnost europalety na 1500 kg. Norma dále uvádí její stohovatelnost 3 palety na sebe. Nosnost spodní palety je tedy 4500 kg. Palety jsou vybaveny stohovatelnou složitelnou nadstavbou o výšce 200 mm, která zajišťuje materiál při transportu. Počet nadstaveb je předem určen dle objednávky. [18]



**Obr. 7.16 EUR Paleta [24]**



**Obr. 7.17 Paletová nástavba [24]**

## **8. Časový průběh operací.**

Takt linky je přizpůsoben k tomu, aby bylo možné kontinuálně dělit materiál bez prostojů. Nejdelší časový úsek je vyhrazen dělení materiálu. Tento časový údaj jsem odvodil ze své vlastní zkušenosti s dělením materiálu automatizovanou pásovou pilou.

Časy periférií byly stanoveny s podmínkou plynulé návaznosti dodávky a odběru materiálu v místě řezu. Maximální potřebný čas pro umístění profilů z regálu na dopravník stanovíme z předpokladu, že odběr materiálu bude maximální na jeden řez. V našem

případě tedy do 500 mm z profilu o celkové délce 6000 mm. Profily jsou umístěny na dopravníku v jednotlivých kapsách a doplňovány jsou v průběhu operace dělení.

$$t_{1MAX} < \frac{6000}{500} - 1 * (t_4 + t_3) = 11 * 60 = 660 \text{ s} = 11 \text{ min}$$

Jelikož je konzolový regál umístěn hned vedle pily a pracovník umísťuje profily na dopravník pomocí podvěsného jeřábu s úvazkem, průběžné doplňování by pro něj neměl být problém i se zvládnutím obsluhy celého dělicího úseku. Tuto položku tedy odhadneme na celkový čas 4 minuty. Přisunutí nového materiálu k čelistem svěráku závisí na rychlosti posuvu řetězového převodu a následně posuvu materiálu po válečkové trati. Tento proces probíhá již při posledním dořezu děleného materiálu. Z toho plyne, že musíme celý tento proces vykonat v čase nižším než je čas řezu materiálu. Maximální rychlost paletizace je určena maximální rychlostí pohybu manipulátoru tj.  $v_{max} = 2 \text{ m} * \text{s}^{-1}$ . Teoretický paletizační čas můžeme tedy hrubě odhadnout.

$$t_5 = \frac{2 * (s_x + s_y + s_z)}{v_{max}} = \frac{2 * (1,8 + 1,5 + 1)}{2} = 4.3 \text{ s}$$

Tento čas je však pro využití v návaznosti na čas řezu značně naddimenzovaný a proto bych volil používat rychlosti kolem  $v_{max} = 0,5 \text{ m} * \text{s}^{-1}$  tím zmenšíme namáhání a rázy v manipulátoru a stále se budeme i s upnutím výrobku pohybovat pod hranicí  $t_4$ . Tento mezní čas bude zadán firmě BAHR-Modultechnik která dodá manipulátor a k němu potřebné pohony a řídicí jednotky.

Označení	Popis operace	Čas
$t_1$	Přesun materiálu z meziskladového regálu na kombinovaný dopravník.	240s
$t_2$	Přisunutí nového materiálu k čelistem svěráku	3 s
$t_3$	Posuv a upnutí materiálu v automatickém svěráku	10s
$t_4$	Řez materiálu	50s
$t_5$	Paletizace	20s

Tab. 8.1 Čas operací

Výkonnost celé sestavy za hodinu  $N_h$  závisí na počtu dělených profilů v jednom řezu. Tento údaj byl vypočten celočíselným podílem funkční délky elektromagnetu ( $L_{EL} 140 \text{ mm}$ ) a delší strany děleného profilu  $b_p$ . Rychlost jednoho řezu ponechám konstantní pro všechny velikosti profilů.

$$n_p = \frac{L_{EL}}{b_p}$$

$$N_h = n_p * t_4$$

$b_p$ [mm]	$n_p$ [ks]	$N_h$ [ks]	$m_p$ [kg]
20	7	504	3,8
25	5	432	4,2
30	4	360	6
35	4	288	5,9
40	3	216	8
50	2	216	6,8
60	2	144	9,6
70	2	144	9,8

**Tab. 8.2 Počty dělených profilu za hodinu**



## 9. Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout pracoviště dělení profilu o maximální délce 500 mm. Po prozkoumání možností automatizovaného dělení jsem se pokusil sestavit vhodnou variantu pracoviště, která by co nejvíce vyhovovala požadavkům zadání. Při sestavování jsem se soustředil na to, aby celé pracoviště bylo plně automatizováno, ale zároveň jsem se snažil najít řešení, které bude co nejvíce ekonomicky výhodné. Vybrané varianty byly zvoleny tak aby byly při porovnávání vyrovnané. Po srovnání variant jsem vybral dle mého názoru optimální variantu a rozpracoval podrobněji jednotlivé periférie.

Dle mého názoru je pracoviště tohoto typu použitelné i v menších výrobních podnicích, které se soustřeďují na výrobu produktů z profilů různých délek a komerčně vyráběné univerzální dělicí linky by byly velice nákladné a jejich návratnost by byla velice nízká.

Z časové analýzy průběhu dělení je patrné že na množství produkce má největší vliv dělička materiálu, ostatní položky jsou dimenzovány na rychlejší propustnost materiálu. To však plyne z mého záměru sestavit linku, která je ekonomicky výhodná a dokáže pokryt potřeby podniku. Při použití vysoko produkčních kotoučových pil bychom dosahovali lepších výsledku, avšak s pořizovacími náklady několikrát vyššími. Na tomto pracovišti je samozřejmě možné dělit i trubky. Podmínkou je feromagnetický materiál polotovaru a doplnění dopravníku zárážkami proti pohybu kruhových předmětu.

## 10. Seznam použitých pramenů

### Publikace

- [1] BRYCHTA, J. , ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J. A L. PETŘKOVSKÁ. *Technologie II - 1. Díl.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-164-8.
- [2] BRYCHTA, J. , ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J. A L. PETŘKOVSKÁ. *Technologie II - 2. Díl.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BURKOVIČ, Jan. *Mechanizace a automatizace výrobních zařízení.* Ostrava:VŠB-TU Ostrava, 2003. str. 115. ISBN 80-248-0513-8.
- [4] BURKOVIČ, Jan. *Navrhování RPT.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2009. str. 114. ISBN 80-248-0217-1.
- [5] KÁRNÍK, Ladislav. *Preriferní zařízení RPT.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1221-5.
- [6] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory .* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.

### Internetové zdroje

- [7] BAHHR-Modultechnik [online] [citace: 19. dubna 2013]  
<http://www.bahr-modultechnik.de>
- [8] Boomar [online] [citace: 23. dubna 2013]  
<http://bomar.cz>
- [9] Euro-palety [online] [citace: 27. dubna 2013]  
[www.euro-palety.com](http://www.euro-palety.com)
- [10] ExactCut [online] [citace: 26. dubna 2013]  
[www.ExactCut.cz](http://www.ExactCut.cz)
- [11] Global chains [online] [citace: 23. dubna 2013]  
[http://www.globalchains.ca/pdf/5-ZMC-C\\_series.pdf](http://www.globalchains.ca/pdf/5-ZMC-C_series.pdf)
- [12] Hutní materiály [online] [citace: 27. dubna 2013]  
[www.hutni-materialy.cz](http://www.hutni-materialy.cz)
- [13] Interroll [online] [citace: 19. dubna 2013]  
[www.Interroll.cz](http://www.Interroll.cz)
- [14] Kardexstow [online] [citace: 18. dubna 2013]  
<http://www.kardex-stow.cz>

[15] Kasto.uk.com. [online] [citace: 20. dubna 2013]  
[www.kasto.uk.com](http://www.kasto.uk.com)

[16] Mazak [online] [citace: 28. dubna 2013]  
<http://english.mazak.jp>

[17] Pegas-Gonda [online] [citace: 28. dubna 2013]  
[www.pegas-gonda.cz](http://www.pegas-gonda.cz)

[18] Pilous [online] [citace: 28. dubna 2013]  
[www.pilous.cz](http://www.pilous.cz)

[19] Reconeng [online] [citace: 18. dubna 2013]  
<http://www.reconeng.com.au>

[20] RSA [online] [citace: 15. dubna 2013]  
<http://www.rsa.de/en>

[21] Řetězy Vamberk.cz [online] [citace: 27. dubna 2013]  
[http://www.retezy-vam.com/images/stories/PDF/vypocet\\_dopravniho\\_retezu.pdf](http://www.retezy-vam.com/images/stories/PDF/vypocet_dopravniho_retezu.pdf)

[22] Sew-eurodrive [online] [citace: 1. května 2013]  
<http://www.sew-eurodrive.cz>

[23] Manex [online] [citace: 1. března 2013]  
<http://www.manex.cz>

[24] Truhlarstvi straka [online] [citace: 1. března 2013]  
[http:// http://www.truhlarstvi-straka.cz/](http://http://www.truhlarstvi-straka.cz/)

## **11. Seznam příloh**

### Výkresová dokumentace

- Dispozice pracoviště  
1-VIC129-PR
- Sestavný výkres dopravníku  
2-VIC129-PR

### Přiložený disk

- Bakalářská práce v elektronické podobě
- 3D model dispozice pracoviště
- Výkresová dokumentace (AutoCad 2007)

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### Seznam obrázků

Název obrázku	str.
Obr. 2.1 Mechanizovaný sklad	4
Obr. 2.2 Automatizovaný sklad	4
Obr. 2.3 Poloautomatická rámová pila KASTO	5
Obr. 2.4 Kotoučová pila Reconeng	5
Obr. 2.5 Pásová pila BOOMAR	5
Obr. 2.6 Porovnání technologií řez	5
Obr. 2.7 Dělení tyčového materiálu pomocí laseru	6
Obr. 2.8 Pila firmy Reconeng s lineárním podavačem a gravitačním zásobníkem	7
Obr. 2.9 Řešení gravitačního zásobníku s pomocným zásobníkem svazků firmy ExactCut	7
Obr. 2.10 Kapsový dopravník	7
Obr. 2.11 Řetězový dopravník	7
Obr. 2.12 Paletizace portálovým manipulátorem	8
Obr. 2.13 Stohování materiálu	8
Obr. 2.14 Použití sklopného stolu	9
Obr. 2.15 Paletizace robotem KUKA	9
Obr. 2.17 Princip vymývání profilů	10
Obr. 2.18 Čištění rotačním kartáčem	10
Obr. 2.19 Vysoušení profilů	10
Obr. 3.1 Časový průběh práce	11
Obr. 3.2 Pila PILOUS AGR200	12
Obr. 3.3 Odhrocovací stroj OH90	12
Obr. 3.4 Profily různých průřezů	12
Obr. 5.1 Varianta A	14
Obr. 5.2 Detail odebrání profilů	15
Obr. 5.3 Zásobník materiálu VARIANTA A	15
Obr. 5.4 Detail rotačního dávkovače	15
Obr. 5.5 VARIANTA B	15
Obr. 5.6 Detail paletizace VARIANTY B	17
Obr. 5.7 VARIANTA C	18
Obr. 5.8 Rozvržení pracoviště při čištění otřepu	19
Obr. 6.1 Fullerův trojúhelník vypracován autorem	21
Obr. 6.2 Fullerův trojúhelník vypracován osloveným expertem	21
Obr. 7.1. Průběh operací VARIANTY A	24
Obr. 7.2 Konzolové regály KARDEX-STOW	25
Obr. 7.3 Zvedák D-SH160	26
Obr. 7.4 Hnací modul dopravníku	27
Obr. 7.5 Sestava dopravníku	27
Obr. 7.6 Řez řetězovým kolem	28
Obr. 7.7 Asynchronní motor Sew-eurodrive	30
Obr. 7.8 Bubnový motor INTERROLL 80i	32
Obr. 7.9 Pásová pila PEGAS 290	33
Obr. 7.10 Polohovací jednotka ELHS	34
Obr. 7.11 Polohovací jednotka ELSZ	34
Obr. 7.12 Sestava portálového manipulátoru	34
Obr. 7.13 Elektor magnet SAV 240.32.D	37
Obr. 7.14 Návrh interface pro upevnění efektoru	37
Obr. 7.15 Paletový dopravník firmy MANEX	38

Obr. 7.16 EUR Paleta	38
Obr. 7.17 Paletová nástavba	38

## Seznam tabulek

Název tabulky	str.
Tab. 4.1 Požadavkový list	13
Tab. 5.1 Legenda VARIANTA A	15
Tab. 5.2 Legenda VARIANTA B	17
Tab. 5.3 Legenda VARIANTA C	19
Tab. 6.1 Hodnocení jednotlivých kritérií	20
Tab. 6.2 Váhy významnosti	22
Tab. 6.3 Celkový součet indexů varianty A	22
Tab. 6.4 Celkový součet indexů varianty B	22
Tab. 6.5 Celkový součet indexů varianty C	23
Tab. 7.1 Parametry konzolového regálu	30
Tab. 7.2 Vybrané parametry zvedáku	32
Tab. 7.3 Vybrané parametry pily PEGAS 290	33
Tab. 7.4 Parametry elektromagnetu SAV 241.32	37
Tab. 8.1 Čas operací	39
Tab. 8.2 Počty dělených profilu za hodinu	40